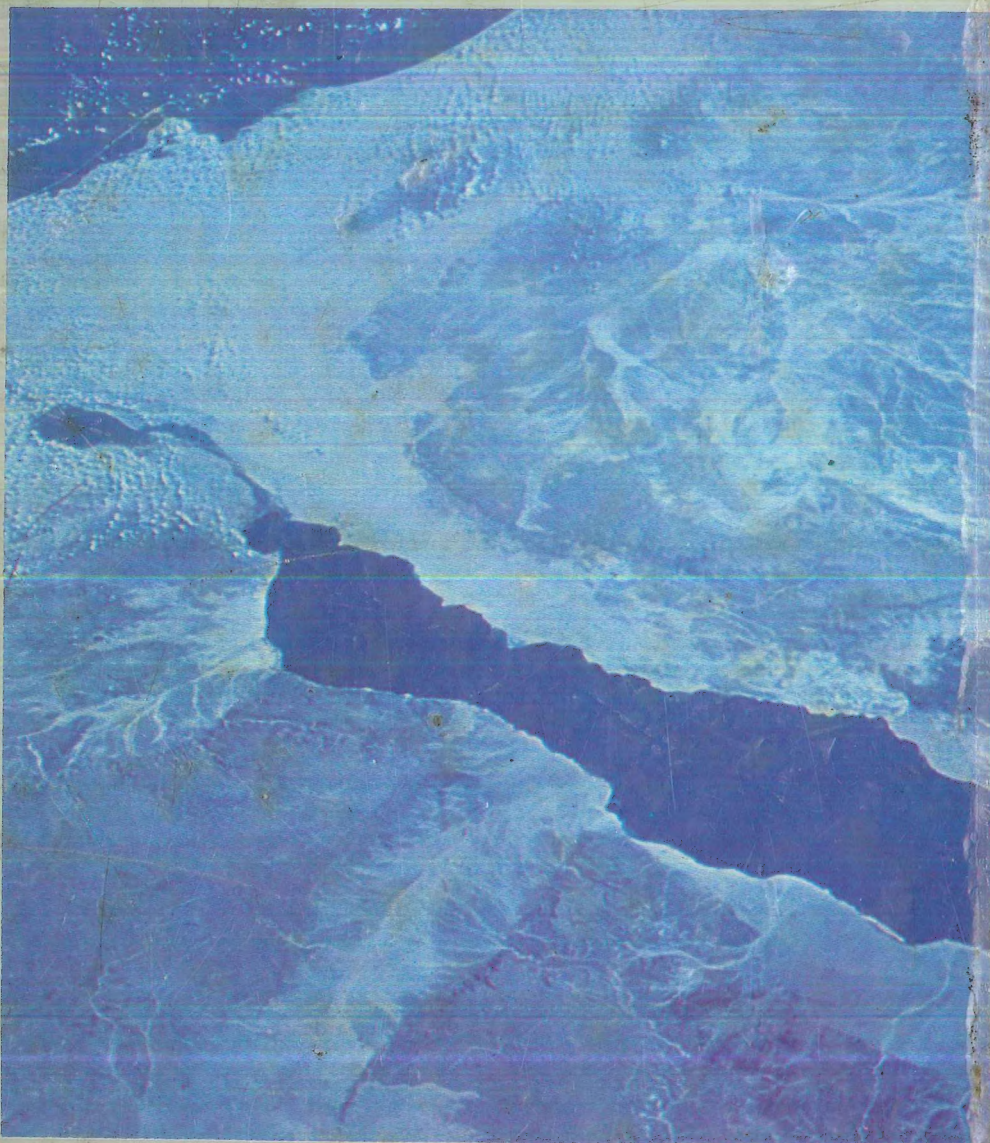


الأرض

مقدمة للجيولوجيا الطبيعية



لوتجنز

ترجمة:

د. عمر سليمان حموده

د. البهلول على اليعقوبي

د. مصطفى جمعه سالم

Translated From
Edward J. Tarbuck
Frederick k. Lutgens, 1984
The Earth
An Introduction to
physical Geology.
Charles E. Merrill
Publishing Company

15	..... مقدمة المترجمين
17	..... مدخل

1 - مقدمة لعلم الجيولوجيا

21	..... بعض الملاحظات التاريخية عن الجيولوجيا
21	..... نظرية الكوارث
22	..... مولد الجيولوجيا الحديثة
24	..... الزمن الجيولوجي والتقويم الجيولوجي
28	..... نشأة الأرض
31	..... نظرة إلى الأرض
37	..... الأرض دائبة الحركة
42	..... دورة الصخور

2 - المادة والمعادن

50	..... الفرق بين الصخور والمعادن
50	..... تركيب المادة
50	..... التركيب الذري
51	..... الترابط
55	..... الكتلة الذرية
55	..... البنية البلورية للمعادن
57	..... الخواص الطبيعية للمعادن
57	..... الشكل البلوري
58	..... البريق
58	..... اللون
59	..... المخدش
59	..... الصلابة

59	الانفصام
60	المكسر
60	الكثافة النوعية
60	المجموعات المعدنية
61	البنية البلورية للسليكات
64	معادن السليكات
65	سليكات الحديد والمغنيسيوم
66	سليكات غير الحديد والمغنيسيوم
69	معادن اللاسليكات

3 - الصخور النارية

75	تبلر الصهير
77	النسيج الناري
80	التركيب المعدني
83	تسمية الصخور النارية
85	الصخور الجرانيتية
88	الصخور الانديسيتية
88	الصخور البازلتية
90	الصخور الفلذبركانية
90	تواجد الصخور النارية
90	طبيعة البلوتونات
95	توضّع الباثوليت

4 - النشاط البركاني

107	طبيعة النشاط البركاني
109	المواد التي تخرجها البراكين عند الفوران
110	طفوح اللابة
111	الغازات
111	المواد الفلذبركانية
112	البراكين والفوران البركاني
117	البراكين المدرعة

118	مخروطات الرماد
119	المخروطات المركبة
122	الكالديرا
123	الرقاب والأنابيب البركانية
124	قارة اطلانتس المفقودة
126	البراكين والمناخ
127	فوران الشروخ ورواسب الطفوح الفلذبركانية
128	التبركن وحركة الألواح
128	نشأة الصهير
131	توزيع النشاط الناري

5 - التجوية والتربة

139	التجوية
140	التجوية الميكانيكية
144	التجوية الكيميائية
150	معدلات التجوية
153	التربة
154	قطاع التربة
155	العوامل المتحكمّة في تكوّن التربة
157	أنوع التربة

6 - الصخور الرسوبية

165	أنواع الصخور الرسوبية
166	الصخور الرسوبية الحثائية
168	الصخور الرسوبية الكيميائية
170	صيرورة الرواسب إلى صخور رسوبية
171	تصنيف الصخور الرسوبية
173	ملامح الصخور الرسوبية
176	المستحاثات
177	مصادر الطاقة من الصخور الرسوبية
179	الفحم

- 180 النفط والغاز الطبيعي
- 182 الطين النفطي

7 - الصخور المتحولة

- 187 التحوّل
- 188 عوامل التحوّل
- 188 الحرارة كعامل للتحوّل
- 189 الضغط كعامل للتحوّل
- 189 النشاط الكيميائي والتحوّل
- 189 التغييرات النسيجية والمعدنية
- 193 الصخور المتحولة الشائعة
- 193 الصخور المتورقة
- 196 الصخور عديمة التورق
- 197 تواجد الصخور المتحولة
- 197 التحوّل على امتداد الصدوع
- 197 تحوّل التماس
- 199 التحوّل الشامل
- 200 التحوّل وحركة الألواح

8 - تبدد الكتل

- 209 التحكم في تبدد الكتل
- 210 تصنيف وسائل تبدد الكتل
- 210 نوعية المادة
- 210 نوعية الحركة
- 210 معدل الحركة
- 211 الهبوط
- 212 الانزلاق الصخري
- 214 التدفق الطيني
- 217 التدفق الترابي
- 217 الزحف
- 218 الجمد السرمدي والتموج الانفرادي

9 - المياه العذبة

- 225 الدورة المائية
- 227 المياه الجارية
- 228 تدفق مجاري المياه
- 232 التغيرات التي تحدث أسفل مجرى النهر
- 233 تأثير الحركة العمرانية على كمية الدفق
- 233 مستوى القاعدة والأنهار الممهدة
- 236 تعرية المجاري المائية
- 237 نقل المجاري المائية للرسوبيات
- 239 تراكم الرسوبيات بفعل المجاري المائية
- 239 رسوبيات القناة
- 239 رسوبيات سهل الفيضان
- 241 الدلتا والمراوح الركامية
- 244 أحواض المجاري المائية
- 251 شبكات نظم الصرف
- 251 نظم الصرف
- 252 المجاري السابقة والمركبة للمياه
- 252 التعرية عند المصدر وقرصنة المجاري المائية
- 253 مراحل تكوّن حوض الوادي
- 256 دورة تطور تشكل المعالم السطحية

10 - المياه الجوفية

- 265 توزيع المياه الباطنية
- 267 منسوب الماء
- 267 المسامية والنفاذية
- 268 حركة المياه الجوفية
- 269 العيون
- 271 الآبار
- 271 الآبار الارتوازية
- 274 المشاكل المصاحبة لسحب المياه الجوفية
- 275 الانخساف

275	تداخل مياه البحر
277	تلوث المياه الجوفية
277	العيون الساخنة والحمامات والطاقة الحرارية الأرضية
277	العيون الساخنة
278	الحمامات
282	الطاقة الحرارية الأرضية
282	الآثار الجيولوجية للمياه الجوفية
282	المغارات
284	طبوغرافية الكارست

11 - المجالد والتجلد

291	المجالد والدورة المائية
294	تكون جليد المجالد
294	حركة المجالد
295	معدل حركة المجالد
298	محتوى المجالد
298	التعرية الجليدية
299	الأشكال الطبوغرافية الناتجة عن التعرية الجليدية
299	واديان المجالد
303	النتوءات والقرون الجبلية
305	صخور أصنام الأغنام
307	الرسوبيات الجليدية
308	معالم رسوبيات التل
308	مورين النهاية والمورين الأرضي
309	المورين الجانبي ومورين الوسط
309	التلال الجليدية البيضاوية
311	معالم كتل الرسوبيات الطبقيّة الجليدية
311	سهول رسوبيات الجليد المنقول وسلاسل رسوبيات الواديان الجليدية
312	رسوبيات خط التلامس مع الجليد
314	نظرية التجلد والزمن الجليدي
315	بعض المؤثرات غير المباشرة لمجالد الزمن الجليدي
317	أسباب التجلد

12 - الصحارى والرياح

- 325 الصحارى
- 327 توزيع الأراضي الجافة
- 328 ما المقصود بالجافة؟
- 328 العوامل الجيولوجية بالمناخ الجاف
- 329 نقل الرياح للرسوبيات
- 329 الحمولة الأرضية
- 331 الحمولة المعلقة
- 333 التعرية بواسطة الرياح
- 335 رسوبيات الرياح
- 335 الرسوبيات الرملية
- 337 أنواع الكثبان الرملية
- 340 الراسب الغريني
- 341 تطور مظاهر التضاريس الصحراوية

13 - الشواطئ

- 351 الأمواج
- 353 تعرية الأمواج
- 353 انحراف الأمواج
- 354 الجرف الشاطئي والتيارات الشاطئية
- 357 تدخل الانسان في العمليات المؤثرة في الشواطئ
- 359 معالم الشواطئ
- 363 السواحل المنبثقة والمغمورة
- 365 المد والجزر
- 368 المد والجزر ودوران الأرض
- 370 المد والجزر وتوليد الطاقة

14 - الزلازل

- 377 ما هو الزلزال؟
- 380 علم الزلازل (علم الاهتزاز)
- 384 تحديد مصدر الزلازل

386	الأحزمة الزلزالية
387	أعماق الزلازل
388	شدة الزلازل ومقدارها
391	دمار الزلازل
292	الدمار الذي تسببه الموجات الاهتزازية
394	الموجات البحرية الاهتزازية (التسونامي)
397	الحرائق
397	الانهيارات الأرضية وهبوط سطح الأرض
397	التنبؤ بالزلازل وتجنب أخطارها

15 - باطن الأرض

405	سبر أعماق الأرض
406	طبيعة الموجات الاهتزازية
410	اكتشاف التركيب الداخلي للأرض
413	القشرة الأرضية
415	الوشاح
417	اللب

16 - حركية الألواح

424	انجراف القارات: فكرة سبقت زمانها
424	التوافق الشكلي لحواف القارات
425	الدليل الاحاثي
426	تشابه أنواع الصخور والتراكيب
428	الدليل المستمد من المناخ القديم
428	المناظرة الكبيرة
430	انجراف القارات والمغناطيسية القديمة
433	بداية ثورة علمية
433	انفراج قاع البحر
435	معكوسات المغناطيسية الأرضية
438	حركية الألواح: تقديم جديد لفكرة قديمة
439	حواف الألواح

441	.....	الحواف المتباعدة
441	.....	الحواف المتقاربة
445	.....	فوالق التحويل
448	.....	اختبار النموذج
448	.....	حركية الألواح والزلازل
450	.....	أدلة من مشروع الحفر بأعماق البحار
452	.....	البقع الساخنة
453	.....	الميكانيكية المحركة

17 - طبيعة قاع المحيط وتطوره

464	.....	حواف القارات
466	.....	الأخاديد البحرية وتيارات العكس
468	.....	ملامح الأحواض العميقة للمحيطات
468	.....	خنادق أعماق المحيطات
469	.....	سهول اللج
469	.....	القمم البركانية
470	.....	الشعب والجزر البركانية
471	.....	رسوبيات قاع المحيط
475	.....	مرتفعات وسط المحيط
475	.....	طبيعة قاع المحيط وإنفراجه
480	.....	انفتاح وانغلاق الأحواض المحيطية الترسيبية
483	.....	البنجيا ما قبلها وما بعدها
485	.....	إنقسام البنجيا
486	.....	ما قبل البنجيا
487	.....	نظرة إلى المستقبل

18 - بناء الجبال وتطور القارات

491	.....	رفع القشرة الأرضية
494	.....	تشكل الصخور
497	.....	الطي
500	.....	المضرب والميل

500	الصدوع
504	الفواصل
505	أنماط الجبال
505	الجبال المطوية
508	جبال قوالب الصدوع
510	الجبال المنبثقة
511	بناء الجبال
511	نظرية القعيرة العظمى
514	حركات بناء الجبال عند حواف الألواح
514	حركات بناء الجبال عند أقواس الجزر البركانية
	حركات نشوء الجبال المصاحبة لعمليات الغوص على امتداد
516	حواف القارات
521	تصادم القارات
523	حركات نشوء الجبال وتنامي القارات
525	نشأة وتطور القشرة القارية

19 - الزمن الجيولوجي

533	الوسائل المبكرة لتأريخ الأرض
535	النشاط الإشعاعي والتأريخ بالقياس الإشعاعي
539	التأريخ النسبي
544	المضاهاة
545	التقويم الجيولوجي
549	الصعوبات في تأريخ التقويم الجيولوجي

20 - جيولوجية الكواكب

555	الكواكب : نظرة مقتضبة
557	أصل وتطور الكواكب
560	القمر
561	سطح القمر
565	تاريخ القمر
568	عطارد: الكوكب الواقع في أقصى الداخل

569	..... الزهرة: الكوكب المقنع
571	..... المريخ: الكوكب الأحمر
576	..... المشتري: كبير الكواكب
577	..... تركيب المشتري
580	..... أقمار المشتري
581	..... زحل: الكوكب الأنيق
583	..... حلقات زحل
585	..... أقمار زحل
587	..... أورانوس ونبتون والتوأمين
587	..... بلوتو: الكوكب الغامض أو المجهول
588	..... الأعضاء الثانوية في المجموعة الشمسية
588	..... الكويكبات السيارة
588	..... المذنبات
590	..... النيازك

مقدمة المترجمين

العالمية سنة بعد أخرى. ولم يكن ذلك بالأمر السهل، حيث أن طبيعة التخصص تحتم إرجاع القاريء إلى أمثلة واقعية وبالتالي مواقع جغرافية معينة. والظواهر الجيولوجية من هذه الناحية نمطان: الأول فريد من نوعه أو يكاد، ولا خيار للكاتب هنا من ذكر موقعه أينما كان. أما النمط الثاني فشائع الوجود في جميع أصقاع الكرة الأرضية وبالتالي فإن الكاتب سيختار أقربها إليه بحكم وجودها في دائرة اهتماماته البحثية أو على الأقل داخل دائرة معلوماته المكانية. وعليه فإن البحث عن مؤلف يتناول المبادئ الأساسية للجيولوجيا الطبيعية دون التركيز على منطقة جغرافية معينة يُعدُّ أمراً مستحيلاً للسبب الذي ذكرناه حول العلاقة الواضحة بين الجيولوجي ومحيطه الجغرافي.

وبناء على هذه المعطيات، وقع اختيارنا على كتاب الأرض، الذي ترجمته بين يديك عزيزي القاريء. فقد أعجبنا شموليته وحدائه معلوماته التي استُمدَّت في كثير من الأحيان من كامل بقاع الأرض. كما جمع بين أشهر الأمثلة وأكثرها وضوحاً مما سيساعد القراء الكرام على تفهم الظواهر الجيولوجية العامة ومقارنتها ببلدانهم ومحيطهم الجغرافي دون الالتفات إلى موقع ذلك المثال والتركيز على كونها ظاهرة طبيعية نتجت عن تفاعل قوانين الخالق وخلقه، ومن ثمَّ تسخير هذه المعلومات للكشف عن ثرواتهم الطبيعية كالنفط والغاز والماء والمعادن.

لأسباب تاريخية وحضارية ودون الحاجة إلى الخوض في المبررات وجدنا أنفسنا مدفوعين لتدبير أمر كتاب باللغة العربية يتناول مبادئ الجيولوجيا الطبيعية ويكون مناسباً لمنهج السنة الأولى بالجامعات العربية ويلبي متطلبات التطور والتجديد المستمرين في المناهج الجامعية، وذلك كجزء من خطط تعريب المناهج الأمر الذي تأخر كثيراً وأصبح ضرورة ملحة لا يمكن تجاهلها أو تأجيلها إلى أبعد من ذلك.

ومن بين الخضم الهائل من الكتب الأجنبية وما توفر لنا من تراجم ومؤلفات باللغة العربية كان لنا أن نقرر. فقد استبعدنا منذ البداية فكرة التأليف، ذلك لعلنا بالوقت الطويل اللانم لجمع المعلومات والاحصائيات وتحضير الرسومات والصور التوضيحية المناسبة، التي هي أساس مثل هذا العمل في مجال يخوض في كل ما يتعلق بظواهر الأرض ومكوناتها ظاهراً كان أم باطناً، بارزاً فوق سطح الماء أو مغموراً. وقد استبعدنا أيضاً فكرة استعمال أي من الكتب العربية المؤلفة أو المترجمة المتوفرة لدينا لأننا لم نجد في أي منها الحد الأدنى لما نرنو إليه من الشمولية والوضوح التي تواكب ما وصل إليه العالم من تطور في أسلوب عرض المعلومات ومحاولة تجسيدها رسماً وصورة قبل الكلمة.

وبعد أن بقي أمامنا خيار الترجمة كان إلزاماً أن نفاضل بين كثير من الكتب الحديثة التي تخرج بها علينا دور النشر

ولكون هذه الترجمة موجهة الى القارىء العربي، وللأعتبارات السابقة، فقد قمنا بحذف بعض الرسومات ذات الطابع الجغرافي الضيق والتي لن تفيد القارىء، دون المساس بالمستوى العلمي للكتاب وما يعرضه من معلومات. وقد اجتهدنا في إختبار المصطلحات العلمية المستعملة في هذه المادة، إلى جانب إقتراح كلمات جديدة لم تستعمل من قبل. وأملنا كبير هنا في أن نكون قد وفقنا في محاولتنا هذه التي لا شك في أنها خطوة متواضعة على طريق طويل وصعب سيقابلنا عبره المشكك الذي لن نلتفت إليه والمشجع الناقد بموضوعية والذي نرحب بمقترحاته ونقده من أجل تقديم الأفضل.

ونتقدم هنا بشكرنا وتقديرنا للزميلين الدكتور على محمد سبيطه والدكتور أمين عبدالله المسلاتي اللذين قاما بمراجعة الترجمة وساهما بتقديم ملاحظاتها البناءة خلال مرحلة المراجعة. كما نتقدم بوافر الشكر الى الادارة العامة للمطبوعات والنشر بجمع الفاتح للجامعات بطرابلس لجهودها المضنية في متابعة مراحل طباعة هذا الكتاب والحصول على إذن ترجمته من الناشر الأصلي.

ونسأل الله العلي القدير أن يوفقنا جميعا لخدمة أمتنا والوصول بها إلى مواقع جديدة من العزة والمجد.

المترجمون

مدخل

مناسب، ولكنه غير عادي أيضاً. فلغته سهلة وفي متناول فهم الطلبة حديثي العهد بالجامعة. فقد ابتعدنا عن الرطانة في الأسلوب. وعند تقديمنا لمصطلحات جديدة عملنا على كتابتها بحروف مميزة مع تعريفها. زد على ذلك أن هناك قائمة بالمصطلحات الهامة في نهاية كل فصل مرتبة حسب الحروف الأبجدية. كما أن هناك بالاضافة الى ذلك سرد للمصطلحات الهامة بنهاية الكتاب. وقد رأينا وجوب كتابة مجموعة من الأسئلة بنهاية كل فصل كوسيلة تعليمية إضافية للطلاب.

وحيث أن الجيولوجيا علم مشاهدة فإننا قد أولينا لتنوعية الصور والرسومات أهمية كبيرة في هذا الكتاب. أما الصور الملونة وغير الملونة فقد اختيرت لزيادة الواقعية الى الموضوع الى جانب جلب إهتمام القارئ. كما أن إخراج الكتاب ووضوحه سيساعدان أيضاً القارئ على تصور المفاهيم الصعبة وتيسيرها.

ولقد حاولنا قدر الامكان تزويد القارئ باحساس فنون الملاحظة ووسائل الاقناع الجيولوجية. وعلم الأرض، شأنه في ذلك شأن باقي العلوم، عبارة عن مجموعة من الحقائق التي تتلخص في الطرائق المختلفة لسبر مجاهل الكرة الأرضية من أجل كشف أسرارها. وتشمل هذه الوسائل جمع المعلومات اللازمة لاستعمالها في اختبار نظريات طبيعة القوى التي تعمل على تشكل كوكبنا المتضيق. بالاضافة الى تفهمنا الأنسب لهذه الوسائل الطبيعية، فإن

لقد جعلتنا وسائل الإعلام في السنوات الأخيرة نزداد وعياً بدور القوى الجيولوجية العاملة داخل بيئتنا الطبيعية. فقد جسدت لنا التقارير الاخبارية بالصورة القوة الهائلة لاندلاع بركان والدمار الذي تسببه الزلازل والحشود الغفيرة التي تتركها التدفقات الطينية والفيضانات دون مأوى. كل هذه الحوادث وغيرها على السواء مدمرة للأرواح والممتلكات، ولا بد لنا من تفهمها بعق وأن نتعلم كيف نتعامل معها. وليبئتنا الطبيعة أهمية أعظم لكون أن الأرض بيئتنا الكبير. ولا تقف أهمية الأرض عند كونها مصدر المعادن التي هي أساس مجتمعتنا الحديث، ولكنها تمثل أيضاً مصدر معظم المتطلبات المدعمة للحياة نفسها. ومن هذا المنطلق يجب أن يتعرف أكبر عدد ممكن من أفراد المجتمع الى وسائل عمل هذه الأرض.

ومن هذا المنطلق قمنا بتأليف كتاب لمساعدة الجميع على تفهم بيئتهم الطبيعية، آمليين أن تشجع هذه المعرفة الجديدة البعض في المشاركة الفعالة لحفظ البيئة، وأن تحفز البعض الآخر لمزاولة مهنة أحد مجالات علوم الأرض. وعلى نفس القدر من الأهمية نحن نعتقد أن المعرفة الأساسية للأرض ستعمل على تجدير شعورنا بأهمية كوكبنا وبالتالي تزيد من تمتع القارئ بمعنى الحياة.

وقد تم تأليف كتاب الأرض هذا للمتخصصين وغير المتخصصين الذين يدرسون أول مقرراتهم في علم الأرض. ولقد حاولنا ليس فقط كتابة مرجع غني بالمعلومات وفي وقت

مدخل

مناسب، ولكنه غير عادي أيضاً. فلغته سهلة وفي متناول فهم الطلبة حديثي العهد بالجامعة. فقد ابتعدنا عن الرطانة في الأسلوب. وعند تقديمنا لمصطلحات جديدة عملنا على كتابتها بحروف مميزة مع تعريفها. زد على ذلك أن هناك قائمة بالمصطلحات الهامة في نهاية كل فصل مرتبة حسب الحروف الأبجدية. كما أن هناك بالاضافة الى ذلك سرد للمصطلحات الهامة بنهاية الكتاب. وقد رأينا وجوب كتابة مجموعة من الأسئلة بنهاية كل فصل كوسيلة تعليمية إضافية للطلاب.

وحيث أن الجيولوجيا علم مشاهدة فإننا قد أولينا لتنوعية الصور والرسومات أهمية كبيرة في هذا الكتاب. أما الصور الملونة وغير الملونة فقد اختيرت لزيادة الواقعية الى الموضوع الى جانب جلب إهتمام القارئ. كما أن إخراج الكتاب ووضوحه سيساعدان أيضاً القارئ على تصور المفاهيم الصعبة وتيسيرها.

ولقد حاولنا قدر الامكان تزويد القارئ باحساس فنون الملاحظة ووسائل الاقناع الجيولوجية. وعلم الأرض، شأنه في ذلك شأن باقي العلوم، عبارة عن مجموعة من الحقائق التي تتلخص في الطرائق المختلفة لسبر مجاهل الكرة الأرضية من أجل كشف أسرارها. وتشمل هذه الوسائل جمع المعلومات اللازمة لاستعمالها في إختبار نظريات طبيعة القوى التي تعمل على تشكل كوكبنا المتخيز. بالاضافة الى تفهمنا الأنسب لهذه الوسائل الطبيعية، فإن

لقد جعلتنا وسائل الإعلام في السنوات الأخيرة نزداد وعياً بدور القوى الجيولوجية العاملة داخل بيئتنا الطبيعية. فقد جسدت لنا التقارير الاخبارية بالصورة القوة الهائلة لاندلاع بركان والدمار الذي تسببه الزلازل والحشود الغفيرة التي تتركها التدفقات الطينية والفيضانات دون مأوى. كل هذه الحوادث وغيرها على السواء مدمرة للأرواح والممتلكات، ولا بد لنا من تفهمها بعمق وأن نتعلم كيف نتعامل معها. وليبئتنا الطبيعة أهمية أعظم لكون أن الأرض بيتنا الكبير. ولا تقف أهمية الأرض عند كونها مصدر المعادن التي هي أساس مجتمعتنا الحديث، ولكنها تمثل أيضاً مصدر معظم المتطلبات المدعمة للحياة نفسها. ومن هذا المنطلق يجب أن يتعرف أكبر عدد ممكن من أفراد المجتمع الى وسائل عمل هذه الأرض.

ومن هذا المنطلق قمنا بتأليف كتاب لمساعدة الجميع على تفهم بيئتهم الطبيعية، آمليين أن تشجع هذه المعرفة الجديدة البعض في المشاركة الفعالة لحفظ البيئة، وأن تحفز البعض الآخر لمزاولة مهنة أحد مجالات علوم الأرض. وعلى نفس القدر من الأهمية نحن نعتقد أن المعرفة الأساسية للأرض ستعمل على تجدير شعورنا بأهمية كوكبنا وبالتالي تزيد من تمتع القارئ بمعنى الحياة.

وقد تم تأليف كتاب الأرض هذا للمتخصصين وغير المتخصصين الذين يدرسون أول مقرراتهم في علم الأرض. ولقد حاولنا ليس فقط كتابة مرجع غني بالمعلومات وفي وقت

مدخل

مناسب، ولكنه غير عادي أيضاً. فلغته سهلة وفي متناول فهم الطلبة حديثي العهد بالجامعة. فقد ابتعدنا عن الرطانة في الأسلوب. وعند تقديمنا لمصطلحات جديدة عملنا على كتابتها بحروف مميزة مع تعريفها. زد على ذلك أن هناك قائمة بالمصطلحات الهامة في نهاية كل فصل مرتبة حسب الحروف الأبجدية. كما أن هناك بالاضافة الى ذلك سرد للمصطلحات الهامة بنهاية الكتاب. وقد رأينا وجوب كتابة مجموعة من الأسئلة بنهاية كل فصل كوسيلة تعليمية إضافية للطلاب.

وحيث أن الجيولوجيا علم مشاهدة فإننا قد أولينا لنوعية الصور والرسومات أهمية كبيرة في هذا الكتاب. أما الصور الملونة وغير الملونة فقد اختيرت لزيادة الواقعية الى الموضوع الى جانب جلب إهتمام القارئ. كما أن إخراج الكتاب ووضوحه سيساعدان أيضاً القارئ على تصور المفاهيم الصعبة وتيسيرها.

ولقد حاولنا قدر الامكان تزويد القارئ باحساس فنون الملاحظة ووسائل الاقناع الجيولوجية. وعلم الأرض، شأنه في ذلك شأن باقي العلوم، عبارة عن مجموعة من الحقائق التي تتلخص في الطرائق المختلفة لسبر مجاهل الكرة الأرضية من أجل كشف أسرارها. وتشمل هذه الوسائل جمع المعلومات اللازمة لاستعمالها في اختبار نظريات طبيعة القوى التي تعمل على تشكل كوكبنا المتغير. بالاضافة الى تفهمنا الأنسب لهذه الوسائل الطبيعية، فإن

لقد جعلتنا وسائل الإعلام في السنوات الأخيرة نزداد وعياً بدور القوى الجيولوجية العاملة داخل بيئتنا الطبيعية. فقد جسدت لنا التقارير الاخبارية بالصورة القوة الهائلة لاندلاع بركان والدمار الذي تسببه الزلازل والحشود الغفيرة التي تتركها التدفقات الطينية والفيضانات دون مأوى. كل هذه الحوادث وغيرها على السواء مدمرة للأرواح والممتلكات، ولا بد لنا من تفهمها بعمق وأن نتعلم كيف نتعامل معها. وليبيئتنا الطبيعية أهمية أعظم لكون أن الأرض بيتنا الكبير. ولا تقف أهمية الأرض عند كونها مصدر المعادن التي هي أساس مجتمعتنا الحديث، ولكنها تمثل أيضاً مصدر معظم المتطلبات المدعمة للحياة نفسها. ومن هذا المنطلق يجب أن يتعرف أكبر عدد ممكن من أفراد المجتمع الى وسائل عمل هذه الأرض.

ومن هذا المنطلق قمنا بتأليف كتاب لمساعدة الجميع على تفهم بيئتهم الطبيعية، آمليين أن تشجع هذه المعرفة الجديدة البعض في المشاركة الفعالة لحفظ البيئة، وأن تحفز البعض الآخر لمزاولة مهنة أحد مجالات علوم الأرض. وعلى نفس القدر من الأهمية نحن نعتقد أن المعرفة الأساسية للأرض ستعمل على تجديد شعورنا بأهمية كوكبنا وبالتالي تزيد من تمتع القارئ بمعنى الحياة.

وقد تم تأليف كتاب الأرض هذا للمتخصصين وغير المتخصصين الذين يدرسون أول مقرراتهم في علم الأرض. ولقد حاولنا ليس فقط كتابة مرجع غني بالمعلومات وفي وقت

وقد عمدنا أيضاً الى التعرض لنظرية حركية الألواح بالفصل الأول لتسهيل إمكانية استعمالها في المواقع المناسبة بالكتاب. وبالرغم من أن هذه النظرية جزء مكمل لهذا الكتاب إلا أننا لم نقم بتغطيتها على حساب المواضيع الأخرى. وفي الوقت الذي تكون فيه حركية الألواح نظرية ساحرة وهامة جداً لفهم ديناميكية الأرض، إلا أن المواضيع الأخرى تبقى مهمة أيضاً ومفيدة للطلبة المبتدئين. غير أننا قد إختلفنا في شيء واحد عن الكتب المشابهة. فبدلاً من أن نفراد فصلاً عن المشاكل البيئية وموارد الأرض الطبيعية أتينا على ذكرها بالكتاب كلما كان ذلك مناسباً. فمثلاً نجد شرح الوقود الإحاثي بفصل الصخور الرسوبية، وموضوع تلوث الآبار بفصل المياه الجوفية، وموضوع محاولة التحكم في تعرية الشاطئ بفصل الشواطئ.

وكما هو الحال في مثل هذا المشروع تبقى مشاركة الآخرين مهمة جداً وعديدة حتى يصعب سردها. ويبقى العرفان الأكبر لأساتذتنا وزملائنا وطلبتنا الذين حفزونا على التعمق في المعرفة. وبهذه المناسبة نتقدم بجزيل شكرنا الى العديد من الأفراد والمؤسسات التي زودتنا بالمعلومات والصور والرسوم التوضيحية لاستعمالها في هذا الكتاب.

هذا النشاط غالباً ما يؤدي الى إعادة تقييم الأفكار التي تمّ التوصل إليها في أوقات كانت فيها معلوماتنا أكثر محدودة منها اليوم. ويوجد بالفصل 16 مثال جيدة للكشف عن الحقائق الجيولوجية وإعادة تقييمها. فقد تبعنا هنا الأطوار التاريخية ورد فعل الرفض للنظرية القائلة بأن القارات تنجرف على سطح الكرة الأرضية، ثمّ تفحصنا المعلومات التي أدت إلى إعادة ولادة هذه الفكرة من جديد كجزء من مفهوم أشمل عرف بحركية الألواح.

أما ترتيب المواضيع داخل الكتاب فقد جاءت في نسق تقليدي. فبعد النظرة الشاملة لعلم الأرض في فصل المقدمة جاء شرح مواد الأرض ومفاهيم البراكين والتعرية ذات العلاقة. وقد ورد بعدها عمل الجاذبية والماء والجليد على تشكيل ونحت وجه البسيطة. وبعد هذه النظرة للعوامل الخارجية نأتي على ذكر تركيب الأرض الداخلي وعوامل تشكّل الصخور وبناء الجبال. وينتهي الكتاب بفصول تناولت الزمن الجيولوجي والنظام الشمسي. وقد جاء هذا الترتيب ليتناسب ودراسة الصخور في المعمل، الذي عادة ما يقوم به الطالب باكراً أثناء دراسته لهذه المادة. ولعلمنا بتفضيل بعض الأساتذة تولي للمواضيع قد يختلف عن هذا فقد عمدنا على جعل كل فصل من فصول هذا الكتاب وحدة متكاملة. فإذا ما فضل أحدهم تناول البراكين وحركية الألواح وبناء الجبال قبل التعرية لأمكنه ذلك دون صعوبة.

المؤلفان إ. ج. ت.

ف. ك. ل.

1



مقدمة لعلم الجيولوجيا

1



بعض الملاحظات التاريخية عن الجيولوجيا

- مولد الجيولوجيا الحديثة.

- نظرية الكوارث.

الزمن الجيولوجي والتقويم الجيولوجي.

نشأة الأرض.

نظرة الى الأرض.

الأرض دائمة الحركة.

دورة الصخور.

بعض الملاحظات التاريخية عن الجيولوجيا

كانت طبيعة أرضنا - مكوناتها والعوامل المؤثرة فيها - موضع اهتمام ودراسة لعدة قرون. اذ ترجع الكتابات عن بعض المواضيع، مثل: المستحاثات والأحجار الكريمة والزلازل والبراكين الى عهد الاغريق، أى أكثر من 2300 سنة مضت. ولقد كان وبكل تأكيد للفيلسوف اليونانى أرسطو أبلغ الأثر فى هذا المضمار. وبطبيعة الحال فان أرسطو كان فيلسوفا، ولذا لم تكن تفسيراته دائما مبنية على ملاحظات وتجارب، ولكنها فى الغالب كانت مشاهدات عابرة. فقد كان يعتقد أن الصخور تكونت تحت تأثير النجوم وأن حدوث الزلازل يرجع الى هروب الهواء أو الغازات المتراكمة فى جوف الأرض بعنف نتيجة تسخينها بنيران مركزية. وعندما قدمت له مستحاثات لسمكة، فسرّها بأن هناك عددا كبيرا من الأسماك تعيش فى الأرض دون حركة ويعثر عليها فى عمليات الحفر. لعل تفسيرات أرسطو ملائمة لعصره ورغم انها استمرت سائدة لعدة قرون، ولكنها لسوء الحظ وقفت حجر عثرة أمام قبول أية تفسيرات جديدة. ويقول فرانك د. آدمز فى كتابه (نشأة وتطور علوم الأرض 1938) - طيلة القرون الوسطى كان يعتبر أرسطو على رأس جميع الفلاسفة، ويعد رأيه فى أى موضوع رأيا نهائيا يعتد به.

نظرية الكوارث:

خلال القرنين السابع عشر والثامن عشر، كانت نظرية الكوارث تشكّل الفلسفة السائدة التى تفسّر حركة

إن المشهد الهائل لاندلاع بركان، والرّعب الذى يحدثه زلزال، والمنظر الرائع لواد جبلى، والحطام الناشئ عن انهيار جبلى، كل هذه ظواهر تقع ضمن اهتمام الجيولوجيين. فدراسة علم الأرض تسعى دائما للإجابة على عدة تساؤلات لعدد من المواضيع العملية والخلافة حول بيئتنا الطبيعية. ومن أهم هذه التساؤلات: ما هى القوى المكوّنة للجبال؟.. كيف كان العصر الجليدى؟.. هل سيكون هناك عصر جليدى آخر؟.. ما الذى كان سببا فى نشأة هذا الكهف والهوابط الصخرية المتدلية من سقفه؟.. هل نبحث عن المياه هنا؟.. هل التعدين بالتجريد عملى فى هذه المنطقة؟.. هل يمكن العثور على النفط بحفر بئر فى هذا الموقع؟.. ماذا سيحدث لو تم الردم والبناء فى المحجر القديم؟..

وموضوع هذا الكتاب هو علم الأرض فهو يعنى بالتحديد دراسة الأرض وفهم نشأتها وتكوينها، وهذا ليس بالخطأ الهين. فالأرض ليست كتلة صخرية غير متغيّرة، ولكنها جسم متحرك له تاريخ طويل ومعقد.

وقد اتفق على تقسيم علم الأرض الى فرعين رئيسيين، هما: - علم الأرض الطبيعى وعلم الأرض التاريخى. وعلم الأرض الطبيعى هو الهدف الأول لهذا الكتاب، فهو يبحث فى المواد المكوّنة للأرض، ويسعى لفهم الظواهر التى



شكل 1 - 1

صورة هزلية حديثة تمثل جيمس هاتون، الجيولوجي الاسكتلندي من القرن الثامن عشر والذي لقب بأبي الجيولوجيا الحديثة أما الوجه المبحلة في وجه هاتون من الصخور المقابلة فربما تمثل خصومه وأكثر منتقديه كلاماً.

نتائجها. وعادة ما نعبر عن هذه الفكرة بقولنا: ان الحاضر هو مفتاح الماضي.

وقبل ظهور نظرية هاتون المتعلقة بالأرض لم يوضح أحد علاقة الجيولوجيا بالطول المفرط في الزمن. وقد حاول هاتون باصرار التأكيد على أن القوى التي تبدو صغيرة، اذا ما استمرت لفترات طويلة من الزمن، فانها تنتج آثارا تعادل تلك التي تسببها الكوارث المفاجئة. وعلى النقيض من سابقه، فقد قلم هاتون أدلة دامغة تؤيد أفكاره. ومن الأمثلة على ذلك قوله بأن الجبال تتشكل وتذوى بواسطة عوامل التعرية وفعل المياه الجارية وأن بقاياها تنقل الى المحيطات بواسطة عمليات يمكن مشاهدتها، وأضاف: بأنه لدينا سلسلة من الحقائق تؤكد بوضوح أن المواد الناشئة من تآكل الجبال قد انتقلت عن طريق الأنهار. وزيادة على ذلك لا توجد خطوة واحدة، في هذا المضمار، لا تخضع للملاحظة الفعلية. واستطرد ليلخص هذه الخاطرة بسؤال أعقبه مباشرة

الأرض. وباختصار فان المؤيدين لهذه النظرية يعتقدون بأن تغير سطح الأرض يتم عن طريق كوارث هائلة. فالملاحق المتمثلة في الجبال والأخاديد التي نعرف اليوم أنها تأخذ وقتاً طويلاً لتتكون، كانت تفسر على أنها نشأت عن طريق كوارث عالمية مفاجئة بسبب غير معروفة، ولم تعد مثيلاتها تحدث في الوقت الحاضر. وهذه الفلسفة هي محاولة للربط بين معدلات التغير التي تطرأ على القشرة الأرضية والأفكار السائدة آنذاك حول عمر الأرض. فقد أعلن القسيس جيمس أشر سنة 1654 أن عمر الأرض هو 6000 سنة تقريباً حيث أنها خلقت سنة 4004 قبل الميلاد. وقد أعلن قسيس آخر بالتحديد أن الأرض قد خلقت عند الساعة التاسعة صباحاً من يوم 26 أكتوبر سنة 4004 قبل الميلاد.

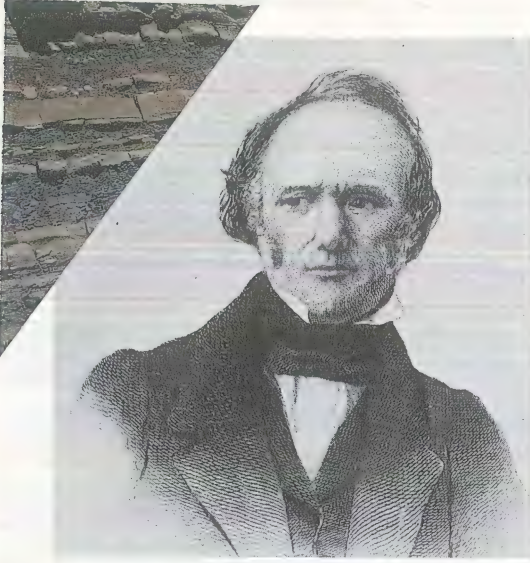
ولقد لخصت العلاقة بين عمر الأرض ونظرية الكوارث

فيما يلي:

حقيقة أن الأرض مرت بأحداث متعددة وأنها شهدت تغيرات فظيعة خلال تاريخها الغامض، هذا أمر واضح تماماً لكل عين فاحصة. ولكن تجميع هذه التغيرات في فترة قصيرة تعد بآلاف السنين قد تحتاج الى فلسفة تناسب المقام وهذه الفلسفة تعتمد على التغيرات العنيفة والمفاجئة.

مولد الجيولوجيا الحديثة:

غالباً ما يعتبر آخر القرن الثامن عشر نقطة البداية لعلم الجيولوجيا الحديثة، حيث أنه خلال هذه الفترة وضع العالم الاسكتلندي جيمس هاتون مبدأ عرف فيما بعد «بنظرية الانتظام» (شكل 1-1)، والانتظام مبدأ أساسى في الجيولوجيا الحديثة وهو يعنى ببساطة أن القوانين الطبيعية والكيميائية والحياتية السائدة في الحاضر هي نفسها التي كانت سائدة في الماضي. وهذا يعنى أن القوى والأساليب التي نراها اليوم تغير شكل كوكبنا قد سادت بنفس الطريقة في الماضي. ومن هذا المنطلق لكى نفهم الصخور القديمة لا بد لنا من دراسة العمليات السائدة اليوم بالإضافة الى



شكل 1 - 2

تشارلز لايل الذى ساهم بكتابه «مبادئ الجيولوجيا الحديثة» بقسط كبير في تقدم علم الأرض.

الماضى كانت تماما كما هي في الحاضر، فاننا نعى أنها كانت تتم بنفس المعدل. ولو أن العمليات قد بقيت في الغالب كما هي الا أن معدلاتها قد تفاوتت بدون شك عبر الزمن.

ان قبول مبدأ الانتظام يعنى قبول تاريخ طويل جدا للأرض لأن العمليات رغم تفاوت حدثها فهي لا تزال تستغرق وقتا طويلا لتبنى أو تزيل الملامح الأساسية لوجه الأرض. فمثلا الصخور التى تحوى مستحاثات لحياء عاشت في البحر منذ أكثر من 15 مليون سنة هي الآن جزء من جبال تقف شاهقة الى ارتفاع 3000 متر فوق سطح البحر. هذا يعنى أن الجبال قد رفعت 3000 متر خلال حوالى 15 مليون سنة أى بمعدل 0.2 مم فقط في السنة. كما أن معدلات التعرية هي ايضا بطيئة (شكل 1 - 3). وتشير التقديرات الى أن قارة أمريكا الشمالية مثلا، تتضاءل بمعدل 3 مم في الألف سنة. ويتضح مما سبق أن الطبيعة تستغرق عشرات الملايين من السنين لتبنى الجبال أو لتزيلها مرة أخرى. وحتى هذه الفترات الزمنية تعتبر قصيرة نسبيا اذا ما قيس بمقياس سلم التاريخ الجيولوجى لأن سجل الصخور ينطوى على أدلة تين أن الأرض قد مرت بعدة دورات من بناء الجبال وهدمها. وحول طبيعة الأرض الدائمة التغير عبر

بالاجابة، ألا وهو أى شيء أكثر نريده... في الواقع لا شيء غير الزمن.

وحيث أن اسلوب هاتون كان غير مستساغ وصعب الفهم، فإن اعماله لم تنتشر ولم يفهمها الكثيرون. ولكن هذا الموقف قد تغير عام 1802 عندما نشر زميله جان بلايفير شرحا للنظرية الهاتونية. وهو عبارة عن مجلد احتوى على أفكار هاتون بأسلوب أكثر سهولة وبسرا. والفقرة الشهيرة التالية من عمل بلايفير والتي هي عبارة عن صيغة جديدة لمبدأ هاتون الأساسى.

بالرغم من التغيرات التى تطرأ على الأرض، فإن نظام الطبيعة لم يتبدل، وأن قوانينها هي الوحيدة التى قاومت كل تغير. فالأنهار والصخور والبحار والقارات قد اعتراها التغير في جميع أجزائها، ولكن القوانين التى تتحكم في هذا التغير والقواعد التى تُسيّره قد بقيت دائما كما هي.

ورغم أن كتاب بلايفير قد اعطى دفعا لأفكار هاتون وساعد في تفهم الجيولوجيا الحديثة، الا أن الجيولوجى الانجليزى تشارلز لايل هو الذى حظى بالتقدير العظيم لمساهمته في التعريف بمبادئ الجيولوجيا الحديثة (شكل 1 - 2) وذلك خلال الفترة من سنة 1830 الى سنة 1872، وقد صدر عن كتابه «أسس الجيولوجيا» إحدى عشرة طبعة. وكما هو معروف، فقد احتوى كتاب لايل على عناوين مطوّلة تلخص أفكاره الأساسية.

وفى محاولة لشرح التغيرات السابقة لسطح الأرض بالرجوع الى الأسباب القائمة الآن وبالتفصيل، فقد أوضح بعناية باللغة مبدأ وحدة الطبيعة عبر الزمن. ولقد كان أكثر قدرة من سابقه وبصورة مقنعة على شرح، العمليات الجيولوجية التى نشاهدها اليوم. وهى نفسها التى كانت سائدة في الماضى. وبالرغم من أن نظرية الانتظام هذه لم تكن من اكتشافه، وهى حقيقة اعترف بها صراحة، الا أنه كان أول من نجح في تفسيرها وفى نشرها بين الناس.

ورغم أهمية نظرية الانتظام للجيولوجيا الحديثة، يجب أن لا تؤخذ حرفيا. فعندما نقول أن العمليات الجيولوجية في



ب



أ

شكل 1 - 3

كثيرا ما تتقدم العمليات الجيولوجية ببطء لدرجة انه لا يمكن الاحساس بالتغيرات التي تحدثها خلال جيل واحد. يفصل بين هاتين الصورتين اللتين أخذتا لنفس الموقع ما يقرب من مائة عام.

الزمن الجيولوجي والتقويم الجيولوجي

بالرغم من أن هاتون وبلايفير ولايل وغيرهم قد أدركوا أن الزمن الجيولوجي موغل في القدم فإنهم لم يكن لديهم أى وسيلة لتحديد عمر الأرض بدقة. ولكن باكتشاف الاشعاع الذرى قرب بداية القرن العشرين وبالتحسين المستمر الذى طرأ على طرق التأريخ الاشعاعى والتى طبقت لأول مرة سنة 1905 ، فان للجيولوجيين الآن القدرة على تحديد كثير من وقائع تاريخ الأرض تحديدا تصاحبه الدقة. وتحدد التقديرات الحالية عمر الأرض بين 4.6 و 4.8 بليون سنة.

يعدّ طول الزمن الجيولوجي من أصعب المفاهيم ادراكا، لأننا لا بد من أن نتعود على التفكير في فترات زمنية أكبر بكثير مما تعلمناه من خلال تجاربنا. فملامح الأرض التى تبدو لنا وبدت لأجيال كثيرة غيرنا، أنها دائمة وغير متغيرة،

فترات طويلة من الزمن الجيولوجي، قال هاتون: نحن لا نجد علامة للبداية ولا نملك توقعا للنهاية. وهذه المقتطفة مما كتبه وليام ستوكس تلخص أهمية مبدأ هاتون الأساسى:

بالنظر الى أن الانتظام يعنى سيادة قوانين ومبادئ ثابتة وأزلية، فانه يمكن القول بأنه ليس هناك من أمر، فى علمنا الواسع وغير المتكامل، يتعارض مع هذه الحقيقة.

ونسستعرض فى الصفحات التالية المواد الأساسية المكونة لكوننا والعمليات التى تشكل هذه المواد أو تحدث تغيرا فيها. ومن المهم أن نتذكر أنه رغم وجود ملامح كثيرة لوجه الأرض قد تبدو دون تغير عند ملاحظتها عبر عشرات السنين، فهى فى الحقيقة تتغير إلا أن تغيرها هذا يحدث بمقاييس مئات أو آلاف، أو ربما ملايين السنين، الأمر الذى يصعب ملاحظته.



أ



ب

شكل 1 - 4

أ - بتطبيق قانون التتابع الطبقي، فإنه يمكن تحديد العمر النسبي لهذه الطبقات التي لم يؤثر فيها الطي.

ب - أما إذا تأثرت الطبقات بعمليات الطي والتشكل فإنه يصعب تحديد عمرها النسبي.

بالسنوات. ويمكن عمل ذلك بتطبيق مبادئ مثل: قانون التتابع الطبقي، والذي ينص على أنه في أي تتابع سليم للصخور الرسوبية أو الطفوح البركانية، كل طبقة تعتبر أقدم من التي فوقها وأحدث من التي تحتها (شكل 1 - 4). ويبدو هذا التفكير اليوم بدائياً ولكنه لم يكن كذلك منذ 300 سنة حيث شكل قفزة نوعية في التعليل العلمي بوضع أساس منطقي للقياس النسبي للزمن. وحيث أنه لا يمكن تحديد معدلات الترسيب لمعظم الطبقات الصخرية فان

هي بحق تتغير ببطء شديد. فعبر ملايين السنين ترتفع الجبال ثم تضمحل وتصير هضاباً وتحت الأنهار مسالك عميقة. فإذا ما حاولنا معرفة كم هي مدة 4.6 بليون سنة، على سبيل المقارنة نبدأ العد بمعدل رقم واحد في الثانية ونستمر 24 ساعة طيلة أيام الأسبوع دون توقف، فسوف نستغرق حوالى عمريّن متتاليين (150 سنة) لنصل الى 4.6 بليون. ويقدم دون أيكر أساساً آخر للمقارنة:

إذا ما تصورت على سبيل المثال، أن 4.5 بليون سنة تعادل سنة واحدة، على هذا المقياس، فإن أقدم الصخور التي نعرفها تعود الى منتصف شهر مارس. وأول بداية للكائنات الحية في البحر كان في شهر مايو. أما النباتات والحيوانات البرية فقد ظهرت في أواخر شهر نوفمبر والمستنقعات الكثيفة التي كونت رواسب الفحم الحجري في الحين الكربوني الأعلى قد ازدهرت لمدة أربعة أيام في أوائل شهر ديسمبر وسادت الديناصورات في وسط شهر ديسمبر ثم انقرضت في 26 منه في نفس الوقت الذي نشأت فيه جبال الروكي. أما الحيوانات التي تشبه الانسان فقد ظهرت في مساء يوم 31 من شهر ديسمبر وبدأ انحسار آخر غطاء جليدي عن منطقة البحيرات العظمى وشمال أوروبا حوالى دقيقة واحدة و 15 ثانية قبل منتصف الليل من يوم 31 ديسمبر وحكم الرومان العالم الغربي لمدة 5 ثوان، أى من الساعة 11:59:45 الى الساعة 11:59:50 من نفس اليوم، واكتشف كولومبو قارة أمريكا 3 ثوان قبل منتصف الليل وكانت ولادة علم الأرض على يد جيمس هاتون حوالى ثانية ونصف قبل نهاية هذه السنة المليئة بالأحداث.

وخلال القرن التاسع عشر وقبل اكتشاف التأريخ الاشعاعى، تم تطوير تقويم جيولوجى باستعمال مبدأ التأريخ النسبى. ويعنى التأريخ النسبى أن الأحداث توضع في تتابع مناسب أو ترتيب دون معرفة عمرها المطلق



أ

شكل 1 - 5

تعتبر المستحاثات أدوات هامة للجيولوجي، فبالإضافة الى اهميتها في تحديد العمر النسبي للصخور، هي أيضا نافعة في تحديد نوع البيئة القديمة.
أ - مستحاث ثلاثي الفصوص في حجر طيني. ب - مستحاث لأحد رأسيات الأرجل الحلزونية.

ب



ذات العمر الواحد في أماكن متفرقة وأمكن بناء التقويم الجيولوجي كما يظهر في شكل (1-6).

وبفحصك للتقويم الجيولوجي ترى أن أكبر التقسيمات تسمى دهورا . هناك ثلاثة دهور معروفة، هي: دهر الحياة القديمة ، ودهر الحياة المتوسطة ، ودهر الحياة الحديثة . وكما تدل هذه التسميات، فإن الدهور تفصل بينها اختلافات عالمية كبيرة في أشكال الحياة. وينقسم كل دهر الى وحدات زمنية تسمى أحيحة . هناك سبعة أحيحة في الدهر القديم وثلاثة في الدهر المتوسط واثنان في الدهر الحديث. وحيث أننا نعيش الآن في الدهر الحديث فانه سوف يكون هناك أحيحة أخرى قادمة. ويتميز كل حين بتفاوت أقل حدة في أشكال

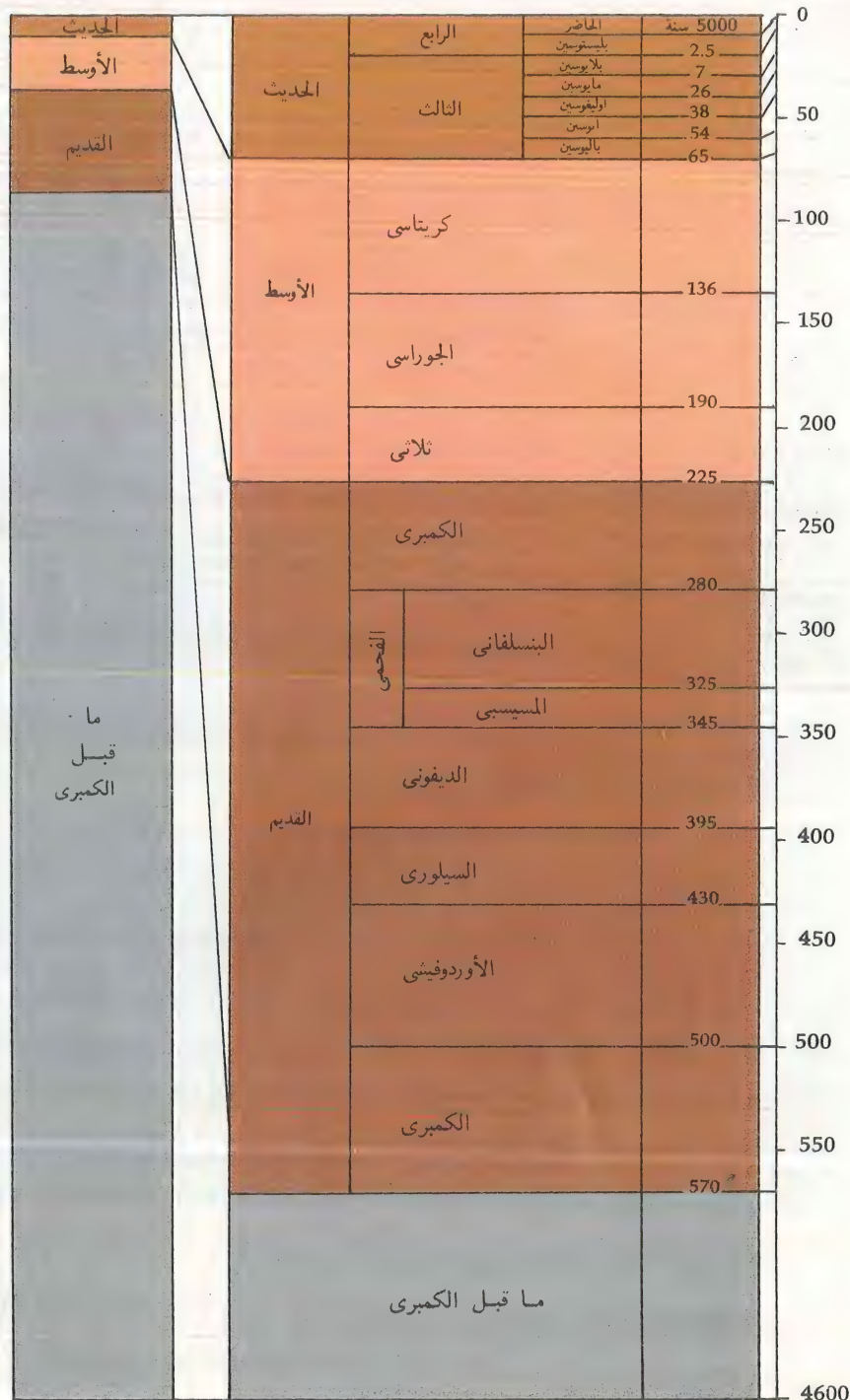
الطول الحقيقي لأي فترة زمنية تمثلها طبقة معينة، لم يكن معروفا.

والمستحاثات التي هي بقايا أو آثار حياة ما قبل التاريخ، كانت هي الأخرى ضرورية لتطوير التقويم الجيولوجي (شكل 1-5). وهناك أيضا مبدأ أساسي في هذا الخصوص تم ارساؤه بمشقة كبيرة عبر سنين عديدة، وذلك بتجميع المستحاثات من عدة طبقات من الصخور في أماكن متفرقة، وهذا المبدأ يعرف بمبدأ تتابع الأحياء. وينص على أن مستحاثات الكائنات يعقب أحدها الآخر بترتيب محدد ومعروف. ولهذا فإن كل فترة زمنية تتميز بمحتواها الاحاثي. وبعد تأسيس هذا المبدأ أمكن للجيولوجيين تحديد الصخور

الطول النسبي للفترات
الرئيسية

ملايين السنين التي
مضت (بالتقريب)

العصر



شكل 1-6

التقويم الجيولوجي، اضيفت الأرقام
الدالة على الزمن المطلق حديثا وذلك
بعد وقت طويل من تأسيس التقويم
الجيولوجي باستخدام وسائل التأريخ
النسبي. ويغطي ما قبل الكمبري
أكثر من 85% من الزمن الجيولوجي.

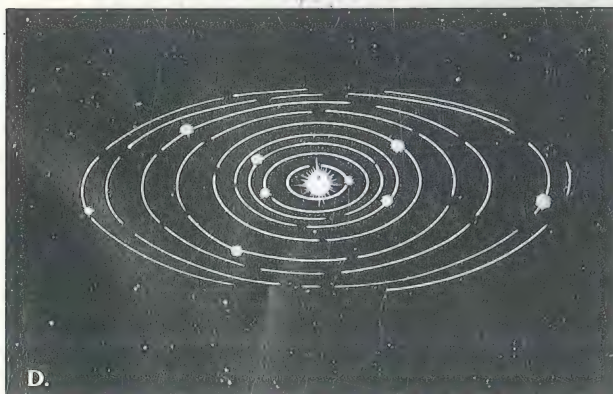
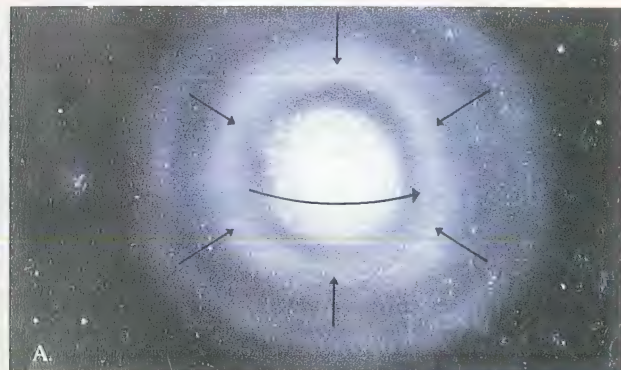
عليها ببساطة حين ما قبل الكامبرى. فهذه الفترة الطويلة من الزمن التى تمثل أكثر من 85% من تاريخ الأرض ليس لها تقسيمات كثيرة لوحداث أصغر. ويعتبر السجل الاحاثى الضئيل هو السبب الرئيسى لانعدام التفاصيل فى هذا الجزء من التقويم. فبدون وفرة المستحاثات يفقد علماء الأرض وسيلتهم الرئيسة لبناء التقويم الجيولوجى.

نشأة الأرض

تشكل الأرض واحدة من تسعة كواكب تدور حول الشمس مع عشرات من الأقمار وعدد كبير من الأجرام

الحياة التى تميزه اذا ما قيس بالتفاوت بين الدهور. وأخيرا، ينقسم كل واحد من الأحينة الاثنى عشر الى وحدات أصغر تسمى عصورا. هذا وباستثناء العصور السبعة التى توجد لها أسماء فى حقبة الدهر الحديث، فان العصور التابعة للأحقاب الأخرى لم تعط لها أسماء محددة حيث اصطلح على استعمال كلمات الباكر والمتوسط والمتأخر للتفريق بين هذه الوحدات الزمنية القصيرة.

ويلاحظ أنه لم يبدأ التفصيل فى الزمن الجيولوجى الا منذ حوالى 600 مليون سنة، وهى بداية الحين الأول من الدهر القديم الذى هو حين الكامبرى. أما الفترة الزمنية التى تزيد عن 4 بليون سنة وتسبق حين الكامبرى فيطلق



شكل 1 - 7

الافتراض السديمي: (أ) - سحب ضخمة من الغبار الكونى والغازات تبدأ فى التقلص. (ب) - تتخذ شكل قرص مفلطح بسبب حركة دورانها حول نفسها. (ج) - تبدأ بعد ذلك الكواكب فى التجمع على امتداد القرص بينما تنجذب معظم المادة نحو المركز لتكوين الشمس. (د) - وبمرور الزمن يتم تجمع بقية المواد فى الكواكب التسعة وفى أقمارها.

المواد المتطايرة لضوء الشمس بتسخين أسطح الكواكب حديثة التكوّن. وقد ساهم ارتفاع درجات الحرارة على الكواكب الداخلية مع مجالات الجاذبية الضعيفة لهذه الكواكب في عدم قدرة الأرض والكواكب المجاورة لها، وهي (عطارد والزهرة والمريخ) على الاحتفاظ بكميات كبيرة من المكونات الخفيفة التي كانت في السحابة الكونية. وقد تبخرت هذه المواد وهي الهيدروجين والهيليوم والأمونيا والميثان والماء من أسطح الكواكب الداخلية للنظام الشمسي وشفطت نهائيا بواسطة الرياح الشمسية. وعلى مسافات أبعد من المريخ، تنخفض درجات الحرارة وتتراكم في الكواكب الخارجية، وهي المشتري وزحل ويورينوس ونبتون، كميات ضخمة من الهيدروجين والمواد الخفيفة الأخرى المستمدة من السحابة الكونية. ومن المعتقد بأن تراكم هذه المواد الغازية هو الذي يفسر الأحجام الكبيرة نوعا والكتافة الصغيرة التي تتصف بها الكواكب الخارجية.

وبعد تكوّن الأرض بوقت قصير، ساهم الانشطار الذري للعناصر المشعة مع الحرارة المنبعثة من تصادم الأجسام، في أحداث انصهار جزئي في داخل الأرض. ويعتقد بأن هذا الانصهار قد أدى الى غوص العناصر الثقيلة وهي الحديد والنيكل بصورة رئيسة بينا طفت المكونات الصخرية الخفيفة الى أعلى. ويعتقد أن هذا التمايز في المواد الذي بدأ مبكرا في تاريخ الأرض، لا يزال يحدث حتى الآن ولكن بمعدلات أقل. ونتيجة لهذا التفاضل الكيميائي فإن التركيب الداخلي للأرض ليس متجانسا. وبدلا من ذلك فإن الأرض تتكون من قشور أو أغلفة بها مواد ذات خواص مختلفة. وتشمل التقسيمات الأساسية للأرض:

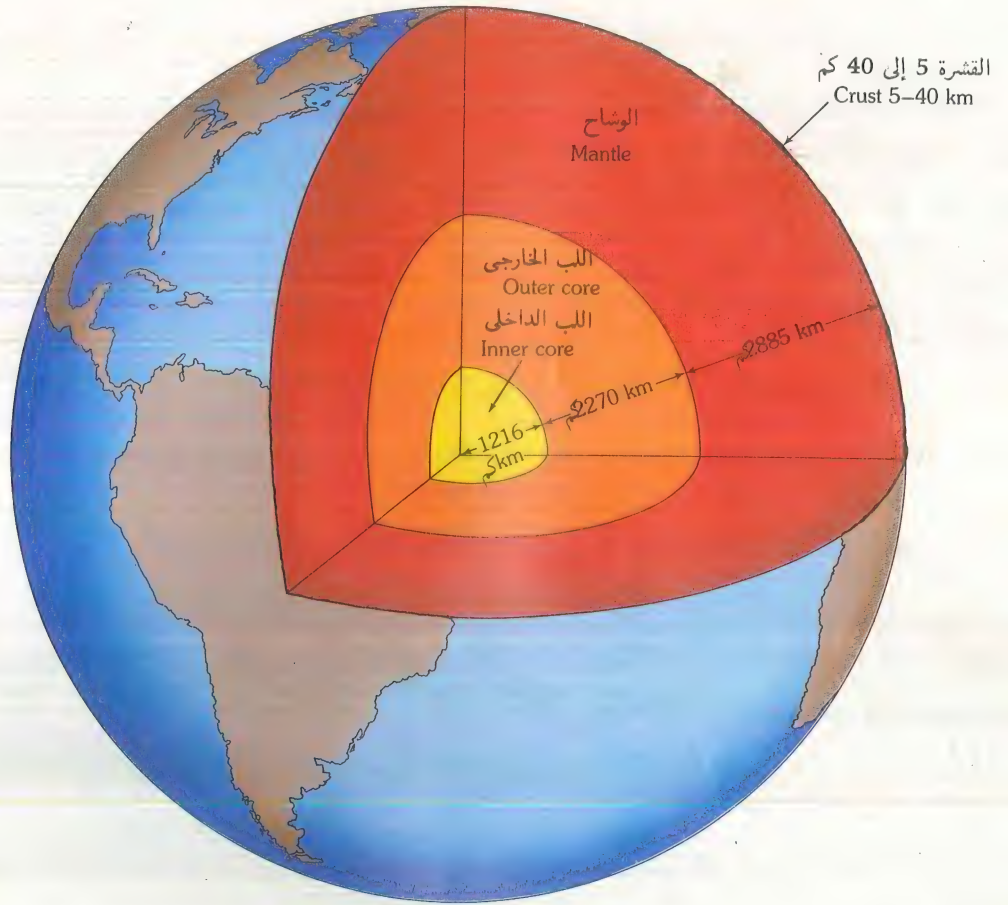
- 1 - **اللب الداخلي:** وهو نطاق صلب غني بالحديد يبلغ نصف قطره 1216 كيلومترا.
- 2 - **اللب الخارجي:** وهو طبقة فلزية منصهرة يبلغ سمكها 2270 كيلومترا.

الصغيرة الأخرى. ولقد حمل الترتيب الطبيعي البديع لنظامنا الشمسي معظم الفلكيين على الاعتقاد بأن جميع الأجرام المكونة لهذا النظام قد نشأت في آن واحد من مادة أزلية واحدة. وتقتصر هذه النظرية التي تعرف بالافتراض السديمي بأن الأجرام التابعة لنظامنا الشمسي قد نشأت من سحابة ضخمة مكونة في معظمها من عنصري الهيدروجين والهيليوم مع نسب ضئيلة فقط من العناصر الأخرى.

فمنذ خمسة بلايين سنة، ولأسباب غير معلومة تماما، بدأت هذه السحابة الكونية المكونة من القطع الصخرية والغازات تتقلص تحت تأثير جاذبيتها الداخلية (شكل 1 - 7). وقد كانت هذه المواد المتقلصة تمتلك مركبة حركة دوران محوري، حيث تزداد حركة دورانها كلما زاد تقلصها. وقد نتج عن هذا الدوران أن اتخذت هذه السحابة السديمية شكل قرص مفلطح. تكونت تقلصات فقاعية صغيرة نوعا خلال القرص الدائر وكانت بمثابة النوى التي تطورت عنها الكواكب. وقد أدى انجذاب الجزء الأكبر من المادة لمركز هذه الكتلة الدائرة وتولد طاقة حرارية من قوة الجذب، الى نشأة الشمس البدائية.

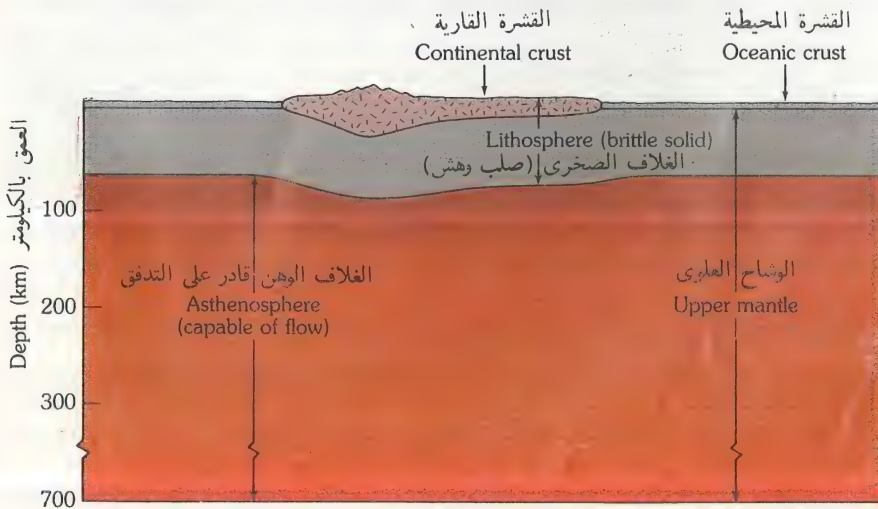
تلا تكوّن الشمس البدائية بوقت قصير، انخفاض ملحوظ في درجات الحرارة داخل القرص الدوار. وقد أدى هذا الانخفاض الحراري الى تكثف كثير من المواد ذات درجات الانصهار المرتفعة، فتكثفت الى جزئيات صغيرة ربما كانت في حجم حبيبات الرمل، وتصلبت المواد المكونة من الحديد والنيكل أولا، ثم تلا ذلك تصلب العناصر المكونة للمواد الصخرية. وباصطدام هذه القطع تجمعت في شكل أجسام أكبر حتى وصلت خلال عدة ملايين من السنين الى أحجام الكواكب. وبنفس الطريقة وبمقياس أقل، استمرت عمليات التكثيف والتجمع اللازمة لبناء الأقمار والأجرام الصغيرة الأخرى التي تكوّن المجموعة الشمسية.

بعد أن تجمعت في الكواكب الناشئة مواد أكثر فأكثر، بدأ النظام الشمسي يأخذ شكله النهائي. ولقد سمحت ازالة



شكل 1 - 8

رسم للتركيب النطاقي للأرض. مُثل كل من اللب الداخلي واللب الخارجي والوشاح بمقياس رسم واحد. بينما رسمت القشرة الأرضية بمبالغة تقدر بثلاثة أضعاف.



شكل 1 - 9

موقع الغلاف الوهن من الغلاف الصخري.

3 - **الوشاح**: وهو طبقة صخرية صلبة يبلغ أقصى سمك لها 2885 كيلومترا.

4 - **القشرة**: وهو غشاء خارجي خفيف يتراوح سمكه بين 5 و 40 كيلومترا. (شكل 1 - 8).

هناك نطاق مهم يقع ضمن الوشاح يستحق الاهتمام، وهو ما يسمى **بالغلاف الوهن** الذي يقع بين عمق 100 الى 700 كيلومتر. وهذا الغلاف الوهن هو عبارة عن نطاق ساخن ضعيف قادر على التدفق التدريجي. والنطاق الذي يقع فوق الغلاف الوهن هو **الغلاف الصخري** الذي يشمل **القشرة** والجزء العلوي من الوشاح (شكل 1 - 9). وبخلاف الغلاف الوهن، فانه يمكن اعتبار الغلاف الصخري الذي يعلوه باردا وصلبا.

والنتيجة المهمة المترتبة على فترة التفاضل الكيميائي، هي أن المواد الغازية قد تسربت من داخل الأرض كما يحدث اليوم أثناء فوران البراكين. وبهذه الطريقة تم تكون الغلاف الجوي في غالبية من الغازات المطرودة من داخل الكوكب. وبفضل الغلاف الجوي أمكن للحياة كما نعرفها أن تخرج الى حيز الوجود.

نظرة الى الأرض

يبين الشكل (1 - 10) منظرا للأرض كما بدت لرواد سفينة الفضاء أبولو 8 ، عندما ظهرت من وراء القمر بعد أن دارت حوله لأول مرة في شهر ديسمبر من عام 1968. فقد زود منظر كهذا، من مسافة 160,000 كم رواد الفضاء، كما زدونا نحن الباقين على الأرض بمنظر فريد لكوكبنا. حيث تمكنا لأول مرة أن نرى الأرض من أعماق الفضاء ككرة صغيرة لطيفة المنظر يحيط بها ظلام الكون اللامحدود. لم تكن مثل هذه المناظر هائلة وخلافة فحسب، بل كانت تبعث على الضعف لما أوحته لنا من شعور بمدى صغر الحيز الذي يشغله كوكبنا من هذا الكون.

وكلما دققنا النظر في كوكبنا من الفضاء (انظر الصورة

الافتتاحية) يتضح لنا ان الأرض ليست صخورا وتربة فحسب. وفي الحقيقة، الملامح الملفتة للنظر ليست القارات ولكنها دوامات السحب المعلقة فوق السطح وكذلك امتداد المحيطات. ومن هذا المنطلق فان باستطاعتنا فهم الأسباب التي من أجلها تقسم البيئة الطبيعية الى ثلاثة أجزاء هي **غلاف الهواء** المسمى **بالغلاف الجوي**، **والغلاف المائي** أو الجزء المغطى بالمياه، والأرض الصلبة أو **الغلاف الصخري**. وكوكبنا هودائم الحركة لا تتحكم فيه هذه الأجزاء من صخر وماء وهواء كل على حدة بل تتحكم يأتي من إستمرار تأثير الهواء بالصخور والصخور بالماء والماء بالهواء.

الغلاف الجوي - ذلك الغطاء الذي يكتنف الحياة على الأرض - يصل سمكه مئات الكيلومترات، وبعد جزء لا يتجزأ من هذا الكوكب. وهو لا يوفر فقط الهواء الذي نستشق بل يعمل أيضا على حمايتنا من حرارة الشمس المحرقة ومن اشعاعاتها الخطرة. وعمليات تبادل الطاقة التي تحدث باستمرار بين الغلاف الجوي وسطح الأرض وبين الغلاف الجوي والفضاء الخارجى هي التي ينتج عنها تغيرات نسبيها عادة بالطقس والمناخ.

والغلاف المائي هو عبارة عن كتلة دائمة الحركة تنتقل باستمرار من المحيطات الى الهواء ومنه الى اليابسة ثم تعود مرة أخرى الى المحيطات. ويعتبر امتداد المحيطات من المظاهر الهامة للغلاف المائي، إذ يغطي 71% من سطح الأرض ويحتوى على 97% من المياه الموجودة فوقها. يشمل الغلاف المائي كذلك المياه العذبة الموجودة في الأنهار والبحيرات والكتل الجليدية الى جانب المياه الجوفية، ورغم أن هذه الأنواع المذكورة أخيرا تشكل نسبة ضئيلة من المياه الكلية الا أن لها أهمية تفوق بكثير ما توحى به نسبتها المثوية لأنها هي المسؤولة على نحت وتكوين كثير من الأشكال السطحية المختلفة لكوكبنا.

وتقع تحت الغلاف الجوي ومياه المحيطات الأرض الصلبة (شكل 1 - 11). وتقتصر دراستها على الملامح



شكل 1 - 10

منظر الأرض كما شاهده رواد الفضاء في ابولو 8 عندما لاحت مركبتهم من وراء القمر.

امتداد معظم الشواطئ مسطبة من المواد القارية قليلة الانحدار تسمى « بالرف القارى » وتمتد من الشاطئ في اتجاه البحر. وقد اختلف اتساع الرف القارى من زمن لآخر. فمثلا، خلال الزمن الجليدى الأخير، عندما كانت كمية كبيرة من مياه العالم مخزنة فوق اليابسة على شكل كتل جليدية، كان مستوى سطح البحر منخفضا بمقدار 150 مترا عما هو عليه الآن. وبذلك أصبحت اليابسة تشكل مساحة أكبر من سطح الأرض. ويعد أحسن مكان للخط

السطحية التى فى متناولنا. ولحسن الحظ، فإن هذه الملامح الظاهرة تمثل الجانب البارز للنشاط المستمر للمواد الجوفية. وبفحص الملامح السطحية الكبيرة وامتدادها عبر الكرة الأرضية، نستطيع أن نحصل على أدلة للعمليات الدائبة الحركة التى تشكل كوكبنا.

والتقسيمين الأساسيين لسطح الأرض هما القارات والمحيطات. ومن الغريب أن الشواطئ الحالية ليست هى الخط الفاصل بين هاتين المنطقتين المتباينتين. بل يوجد على

والفيلين وغينيا الجديدة. أما الحزام الجبلي الآخر فيمتد من جبال الألب عبر إيران وجبال الهيمالايا ثم يتجه جنوبا الى اندونيسيا. وبالتدقيق في هذه الأراضي الجبلية يتضح أن غالبيتها أماكن حشرت فيها تجمعات صخرية سميكة ثم شكلت بشدة كما لو كانت قد وضعت بين فكي كماشة ضخمة.

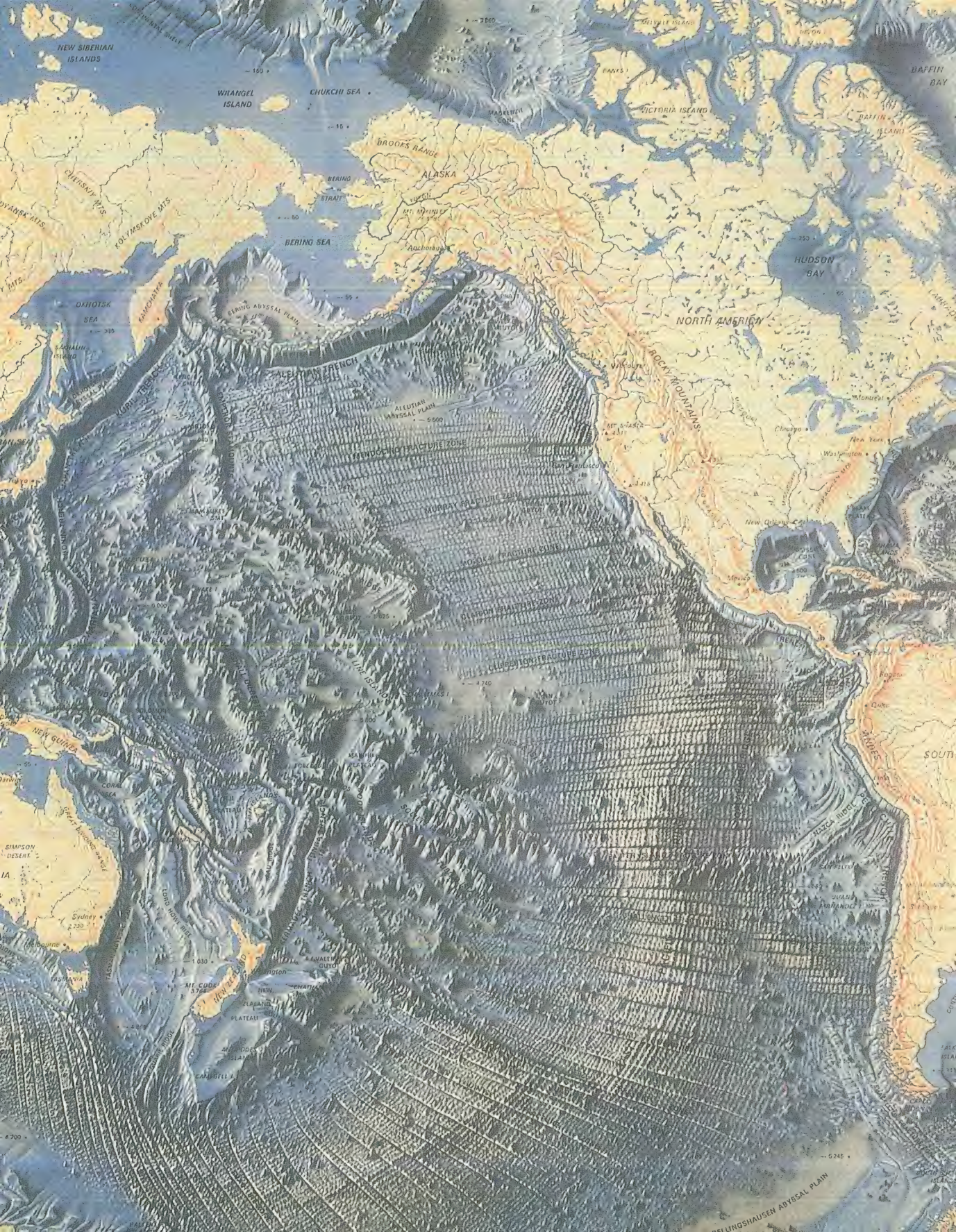
وتوجد الجبال القديمة أيضا فوق القارات. ومن الأمثلة على ذلك جبال الأبالاش شرقى الولايات المتحدة الأمريكية وجبال الأورال بالاتحاد السوفيتي، وقد تأكلت قممها التي كانت شامخة نتيجة لملايين السنين من التعرية المستمرة. أما المناطق الأقدم من هذه الجبال فتوجد في الأجزاء الداخلية المستقرة للقارات. في هذه المناطق الداخلية المستقرة توجد مناطق تعرف بالدروع، وهي امتدادات شاسعة، منبسطة نوعا ومكونة غالبا من مواد صخرية بلورية. وقد اتضح من التحديد الإشعاعي لعمر الدروع أنها حقا مناطق قديمة، حيث تزيد أعمار البعض منها عن 3.8 بليون سنة. وتقيم هذه الصخور القديمة الدليل على أن هناك قوى جبارة عملت على طيها ثم تشكيلها.

ومنذ سنوات قليلة كان يسود الاعتقاد بأن أحواض المحيطات هي عبارة عن مناطق عديمة التضاريس ولا يوجد بها سوى عدد قليل من البراكين الصاعدة من الأعماق. لكن هذه النظرة لقاع المحيط ليس لها أى أساس من الصحة. وفي الحقيقة، تعرف أحواض المحيطات اليوم بأنها تحتوى على أضخم سلسلة جبلية على الأرض، وهي نظام مرتفعات وسط المحيطات (شكل 1 - 11). ويكون هذا الهيكل العريض حزاما مستمرا يمتد لمسافة 65000 كيلومتر حول الكرة الأرضية بطريقة تشبه درازة كرة المضرب. وبدلا من تكون مرتفعات وسط المحيط من صخور شديدة التشكل

الفاصل بين القارات وأحواض المحيطات هو في منتصف المنحدر القارى الذى يشكل هوة شديدة الانحدار تبدأ من طرف الرف القارى في اتجاه الأحواض العميقة للمحيطات. وباستعمال هذا الخط الفاصل نجد أن 60 في المئة من سطح الأرض تغطيه الأحواض المحيطية بينما يغطى الجزء الباقي، وهو 40 في المئة، الكتل القارية.

والفرق الأكثر وضوحا بين القارات والأحواض المحيطية هو مستواها النسبى. ويبلغ متوسط ارتفاع القارات فوق مستوى سطح البحر حوالى 840 مترا بينما يبلغ متوسط عمق المحيطات حوالى 3800 مترا. ولهذا فإن القارات ترتفع في المتوسط 4,6 كيلومترا فوق مستوى قاع المحيط ويعزى ارتفاع القشرة القارية الى حد كبير لكثافتها. اذ تتكون الكتل القارية من مواد تشبه في خواصها الجرانيت، وهو صخر شائع تبلغ كثافته حوالى 2.7 ضعفا لكثافة الماء. بينما يسود الاعتقاد بأن لقشرة الكتل المحيطية تركيب لا يكفى لتفسير المواقع المرتفعة للقارات، ولكن المواد الصخرية التي تقع على عمق 100 كيلومتر هي ضعيفة بطبيعتها ويمكنها التدفق، ولهذا يمكن اعتبار الطبقة الخارجية الصلبة للأرض على أنها تطفو فوق الطبقة الضعيفة مثلما يطفو مكعب الثلج فوق الماء. وتصل الكتل القارية المكونة من قطع سميكة لصخور أقل كثافة في طفوها الى مواقع أعلى من المواد المحيطية الأقل سمكا والأكبر كثافة.

في هاتين المنطقتين المتباينتين يوجد تفاوت كبير في الارتفاع. وتعد الأحزمة الجبلية الطولية من أبرز ملامح القارات (شكل 1 - 11). ورغم أن توزيع الجبال يبدو عشوائيا لأول وهلة، إلا أن ذلك ليس صحيحا. فاذا تناولنا المناطق الجبلية الحديثة فاننا نجد أنها تقع في نطاقين هما: الحزام الملتف حول المحيط الهادى الذى يشتمل على جبال غرب القارتين الأمريكيتين ويمتد حتى غرب المحيط الهادى في شكل أقواس من الجزر البركانية. وتعد أقواس الجزر هذه مناطق جبلية نشطة مكونة في معظمها من صخور بركانية مشكّلة. ومن بين هذه الجزر: الجزر الأليوتشية واليابان







أ - تباعد ب - تقارب ج - فائق تحويل

شكل 1 - 12

رسم فسيقيائي للألواح الصلبة التي تكون القشرة الخارجية للأرض.

(أ) - يمثل الأطراف المتباعدة. (ب) - يمثل الأطراف المتقاربة. (ج) - يمثل حدود فوالق التحويل.

كما هو الحال بالنسبة للجبال الموجودة فوق القارات، فإن هذه المرتفعات تتكون من طبقات متتابعة من صخور كانت يوما ما منصهرة ثم تشققت ورفعت.

ويحتوى قاع المحيط أيضا على أخاديد بالغة العمق كثيرا ما يصل عمقها الى 11.000 متر. ورغم ضيق هذه الأخاديد المحيطية العميقة، ورغم أنها لا تشكل رقعة كبيرة من قاع المحيطات، إلا أنها تعد من الملامح عظيمة الأهمية. وتقع الأخاديد عادة بمحاذاة الجبال الحديثة التى تحيط بالقارات، مثل جبال الأنديز فى غرب أمريكا الجنوبية، أو بمحاذاة أقواس الجزر البركانية.

والأسئلة الآن، والتى تفرض نفسها، هي: ما هي الصلة، ان وجدت، بين أحزمة الجبال الحديثة النشطة وبين الأخاديد المحيطية؟.. ما هي أهمية نظام المرتفعات الضخمة التى تمتد عبر جميع محيطات العالم؟.. وما هي القوى التى تطل الصخور فتجعل منها مرتفعات جبلية شاهقة؟.. كل هذه الأسئلة لا بد من الاجابة عليها عند محاولتنا للكشف عن العمليات الدائبة التى تشكل كوكبنا هذا.

الأرض دائبة الحركة

الأرض هي عبارة عن كوكب دائم الحركة. فلو استطعنا أن نعود بليون سنة الى الوراء أو أكثر لوجدنا أن سطح الأرض مختلف تماما عما هو عليه اليوم، ولوجدنا أنه كان للقارات أشكالاً مختلفة أو أنها تقع في مواقع مختلفة عما هي عليه الآن. ولكن على العكس من ذلك تماما فان سطح القمر لم يكن يختلف كثيرا منذ بليون سنة عما هو عليه اليوم. وفي الحقيقة، لو نظرنا اليه بالمقربات لوجدنا أن عددا قليلا من الفوهات البركانية لم يكن موجودا عليه في ذلك الوقت. وعليه اذا ما قارنا القمر بالأرض نجد أنه جسم ميت يسبح عبر الفضاء.

ويمكن تقسيم العمليات التى تغير من سطح الأرض الى صنفين: العمليات التى تهدم سطح الأرض باستمرار

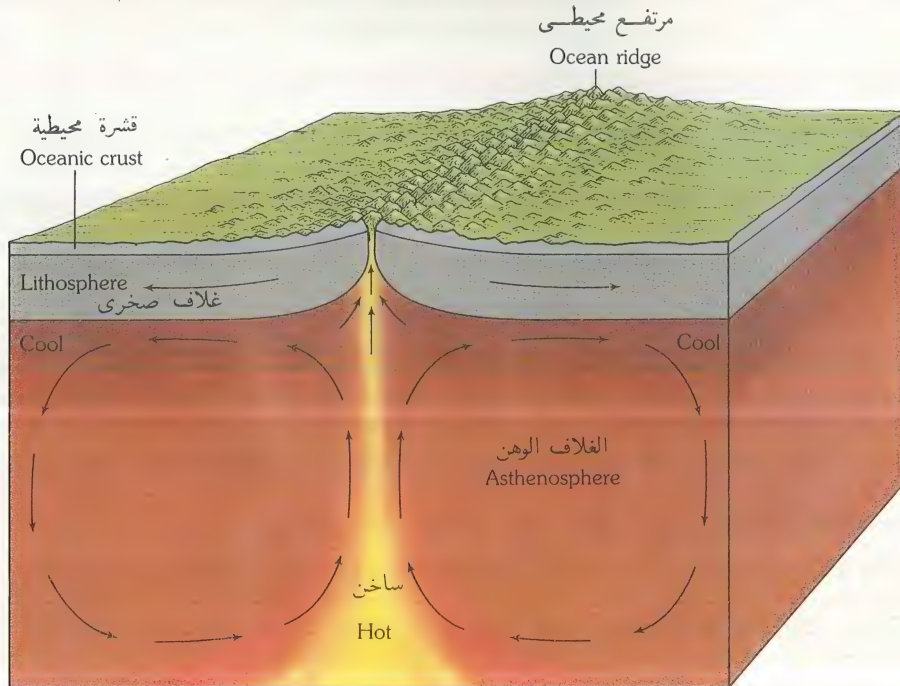


التشكيك. وقد مرّ أكثر من 50 سنة قبل ان تتجمع المعلومات الكافية لتحويل هذا الافتراض البسيط الى نظرية فاعلة تربط بين كل العمليات الأساسية التي تشكل أرضنا. لقد تمخض ذلك في النهاية على تقديم النظرية الحركية الحديثة التي زودت الجيولوجيين بنموذج متكامل للتصرف الداخلي للأرض.

وحسب هذا النموذج الحركي فان الغلاف الصخري الخارجى للأرض قد تقطع الى عدة قطع منفردة تكوّن ألواحاً منفردة وصلبة (شكل 1 - 12). ومن المعتقد أيضاً أن هذه الألواح الصلبة تتحرك ببطء وباستمرار. ويعتقد أيضاً بأن المسئول عن هذه الحركة هو محرك حرارى ناتج عن التوزيع غير المتساوى للحرارة داخل الأرض. فعندما ترتفع المواد الساخنة الى أعلى من أعماق الأرض وتتوزع جانبياً عن طريق تيارات الحمل، تبدأ الصفائح في الحركة (شكل 1 - 13). وفي النهاية، فان حركة هذه الألواح الصخرية تسبب زلازل ونشاطاً بركانياً مشكلةً كتلاً ضخمة من الصخور لتتصير جبالا. وبما أن كل لوح يتحرك كوحدة مستقلة، فانه

وتشمل التجوية والتعرية. وخلافا لما يحدث في القمر، حيث تسير عمليات التجوية والتعرية ببطء شديد، فان هذه العمليات تغير باستمرار من المعالم السطحية للأرض. وعمليات الهدم هذه لا بد أنها قد أدت الى تشكّل القارات نهائياً لولا وجود عمليات أخرى بناءً مضادة لها. وهذه العمليات هي عمليات النشاط البركاني وبناء الجبال، والتي تعمل على زيادة رفع الأرض في اتجاه مضاد للجاذبية. وتعتمد هذه الظاهرة على الحرارة الداخلية للأرض كمصدر من مصادر الطاقة.

وخلال العقود القليلة الماضية أمكن معرفة الكثير عن طبيعة كوكبنا الدائب الحركة. في الحقيقة يسمى الكثيرون هذه الفترة ثورة في المعرفة المتعلقة بالأرض، ليس لها مثيل في أى زمن. وقد بدأت هذه الثورة في الجزء الأول من القرن العشرين باقتراح متطرف يقول: ان القارات انجرفت في سبيلها على سطح الأرض. ولأن هذه الفكرة تتعارض مع الرأى السائد بأن القارات وأحواض المحيطات هي ملامح ثابتة ودائمة على سطح الأرض، فقد قوبلت بكثير من



شكل 1 - 13

يعتقد بأن التوزيع غير المتساوى للحرارة في أعماق الأرض يولد تيارات حمل تحرك القشرة الخارجية للأرض.

ويعتقد بأن انتشار الألواح (التباعد) يحدث عند المرتفعات المحيطية. وحالما يفصل لوحان، تمتلئ الثغرة التي يحدثانها بصخور منصهرة تنبعث من الغلاف الوهن الساخن (شكل 1 - 15) وتبرد هذه المواد ببطء مكونة طبقة رقيقة من قاع المحيطات. وتستمر الانفصالات والامتلاءات المتتالية في إضافة غلاف صخري جديد بين الألواح المتباعدة. وهذه الكيفية هي التي أنتجت قاع المحيط الأطلسي خلال المئتي مليون سنة الغابرة، وهي التي تسمى بجدارة انتشار قيعان البحار. ويقدر معدل انتشار البحار الشائع بحوالى 5 سنتيمترات في السنة مع تفاوت ذلك من مكان الى آخر. ان هذا المعدل الذى يبدو بطيئا هو في الحقيقة سريع لدرجة أنه يمكن اعتبار أن جميع الأحواض المحيطية الحالية قد ولدت خلال الخمسة في المئة الأخيرة من الزمن الجيولوجي.

وبالرغم من أن الطبقات الصلبة الخارجية للأرض تولد باستمرار عند المرتفعات المحيطية فإن المساحة السطحية للأرض تبقى ثابتة. ولهذا فانه لا بد للغلاف الصخري أن يتهدم بنفس المعدل الذى يبنى به. ومكان هذا الهدم هو

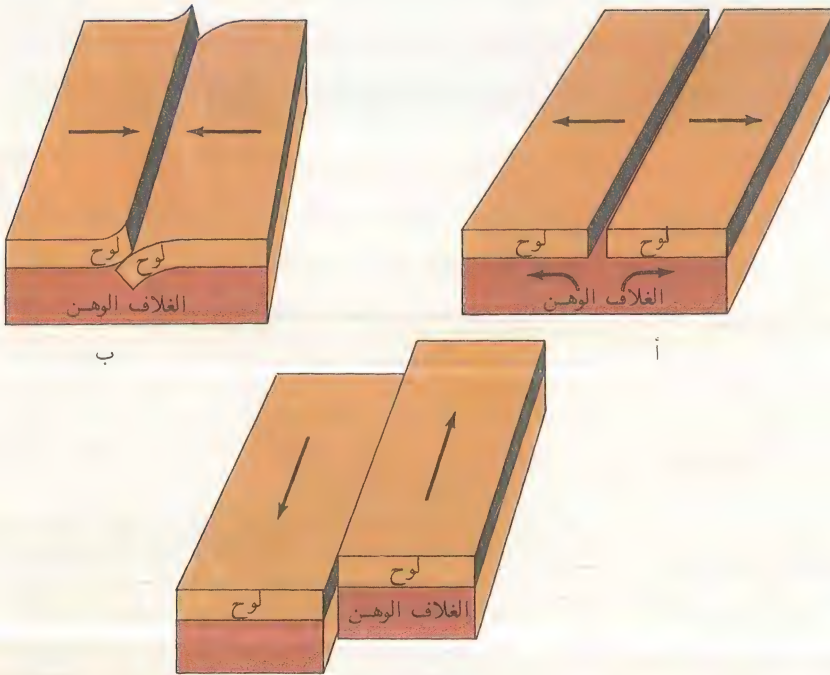
يحدث اللقاء بين الألواح على امتداد أطرافها. وقد تم تحديد أطراف الألواح عن طريق رسم مواقع الزلازل والنشاط البركاني. وأخيرا أمكن التعرف على ثلاثة أنواع مختلفة من أطراف الألواح والتي يمكن تمييزها عن طريق الحركة التي تحدثها (شكل 1 - 14). وهذه هي:

1 - **الأطراف المتباعدة:** وهي مناطق تتباعد فيها الألواح عن بعضها تاركة ثغرة بينها.

2 - **الأطراف المتقاربة:** وهي مناطق تتقارب فيها الألواح من بعضها مسببة في انزلاق أحد اللوحين المتقاربين تحت الآخر، كما يحدث عندما يتعلق الأمر بالقشرة المحيطية أو عندما يصطدم لوحان من القشرة القارية.

3 - **أطراف فالق التحويل:** وهي مناطق ينزلق فيها لوحان جانبيا بحيث يشكل كل منهما الآخر.

كل لوح تحده مجموعة من هذه المناطق (شكل 1 - 12). وتتطلب أى حركة في أحد الأطراف تعديلات مناسبة في الأطراف الأخرى.



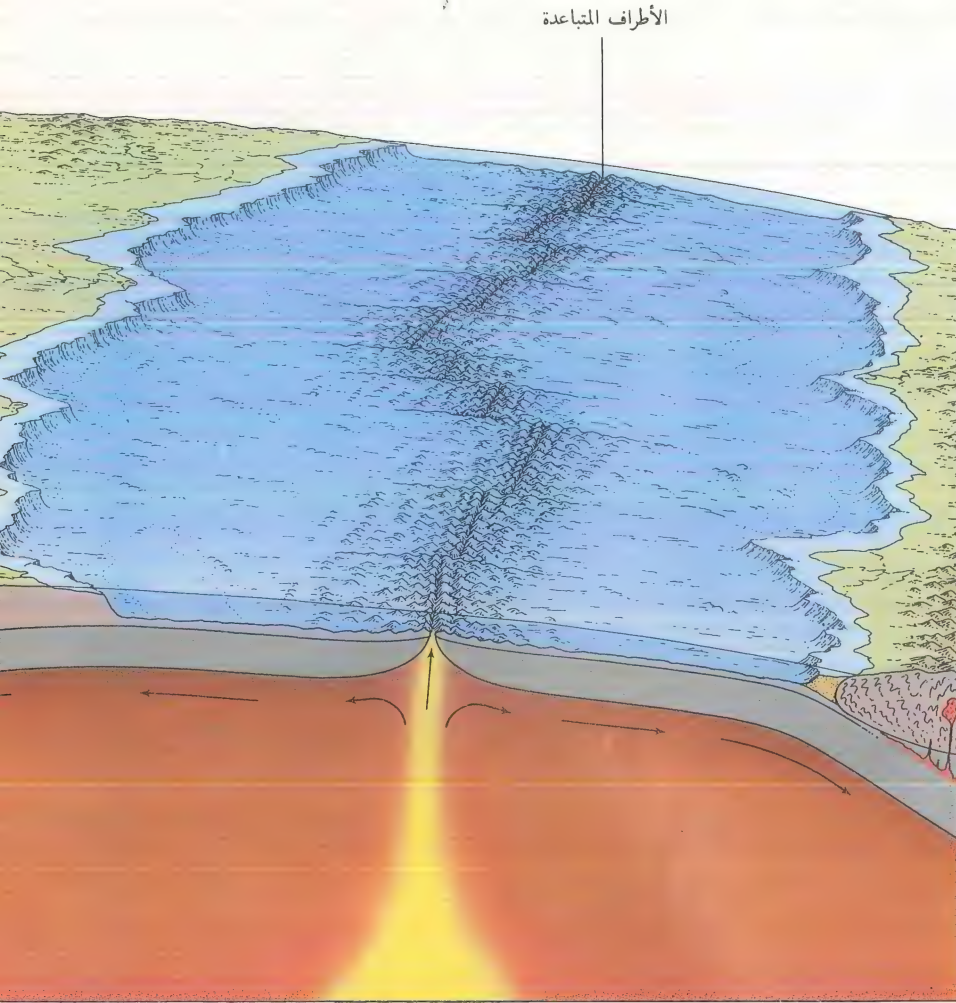
شكل 1 - 14

رسم توضيحي لأطراف الألواح:

(أ) - أطراف متباعدة.

(ب) - أطراف متقاربة.

(ج) - حدود فالق تحويل.



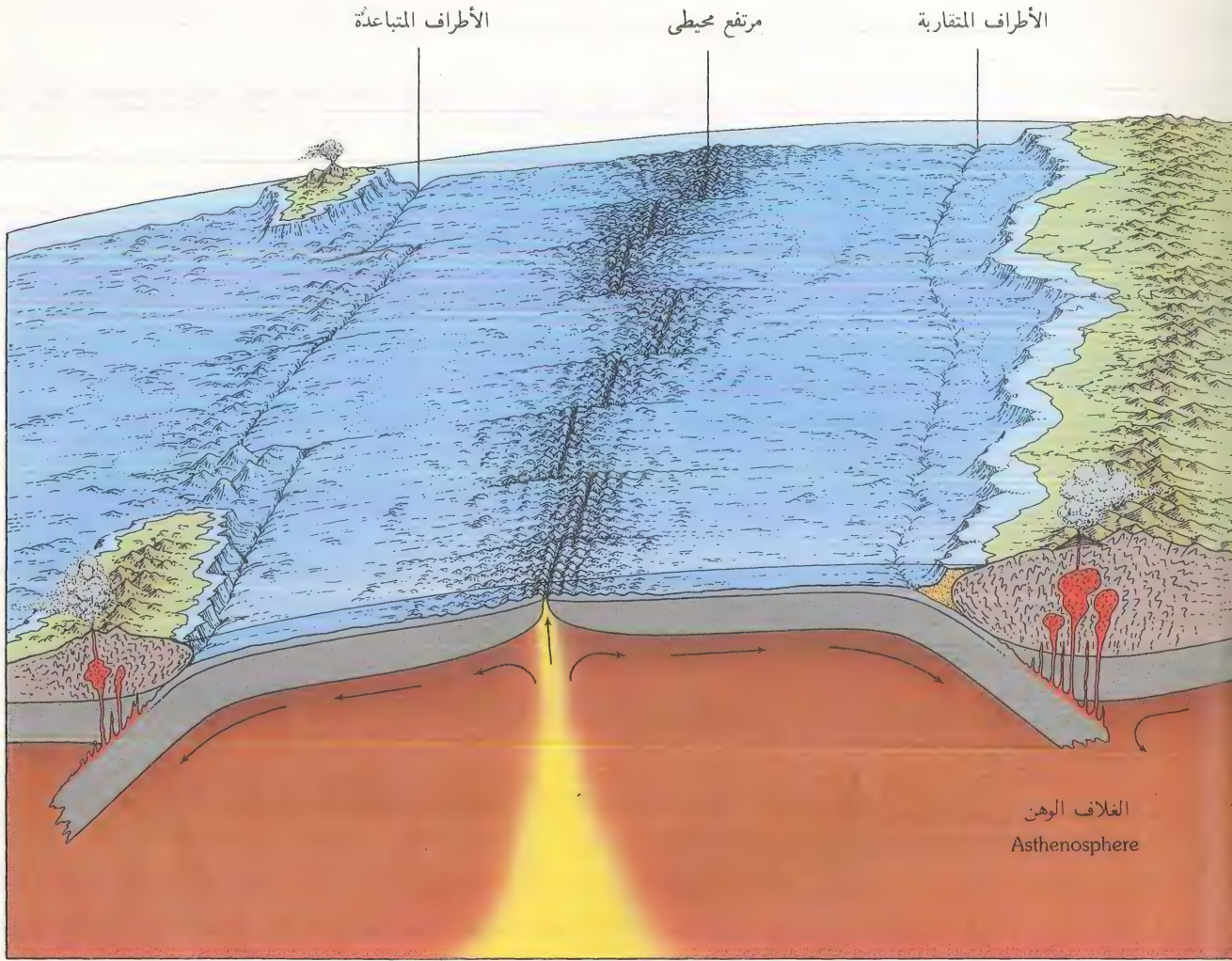
شكل 1 - 15
رسم للأرض يوضح علاقة الأطراف
المقاربة بالأطراف المتباعدة للألواح.

وتصعد الى أعلى مخترقة اللوح الذى فوقه. فى بعض الحالات تصل هذه الصخور المنصهرة إلى سطح الأرض حيث تؤدي إلى فوران بركانى مثل تلك المكونة لبركان سانت هيلينز.

تقع الأطراف الأخرى التى تمثلها فوالق التحويل فى المواقع التى تنزلق فيها الألواح جانبيا دون هدم أو بناء للقشرة الأرضية، وتنشأ هذه الفوالق فى اتجاه حركة الألواح، وقد تم اكتشافها فى البداية مصاحبة للتفاوت الذى يحدث فى المرتفعات المحيطية (شكل 1 - 15). ورغم أن معظم فوالق التحويل تقع داخل الأحواض المحيطية، إلا أن بعضها يقطع القارات. ومن الأمثلة المشهورة: فالق سان اندرياس

منطقة تقارب الألواح. عندما يلتقى لوحان فان طرف احدهما يقترب ينصاع الى أسفل مسهلا بذلك عملية انزلاقه تحت اللوح الآخر. وعندما يصطدم لوحان صخريان احدهما محيطى والآخر قارى، فإن المادة المحيطية التى هى أكثر كثافة دائما تغوص فى الغلاف الوهن الضعيف تحتها (شكل 1 - 15).

وتسمى المناطق التى يتم فيها التهام الغلاف الصخرى المحيطى نطاقات الغوص. وفى هذه المناطق عندما تتحرك الألواح الصلبة الى أسفل فانها تصبح تحت حرارة وضغط مرتفعين، ويعتقد بأن بعض المواد الغائصة سوف تنصهر



الغلاف الوهن
Asthenosphere

الزمن. فمثلا، بدأت تتكون منطقة أطراف متباعدة جديدة تمر عبر شرق إفريقيا. ولو استمر الانتشار في تلك المنطقة، فإن قارة إفريقيا سوف تنشط إلى لوحين يفصلهما محيط جديد. وفي مواقع أخرى تتقارب القارات من بعضها لتكون فيما بعد قارة ضخمة متحدة. وعندما تصطدم قارتان كانتا منفصلتين فإن الصخور والزواصب التي توجد في حوافها ترتفع تدريجياً لتكوّن سلاسل جبلية شاهقة.

وطالما بقيت الحرارة أكثر ارتفاعاً في أعماق الأرض عما هي عليه عند السطح، فإن مواد الأرض سوف تستمر في الحركة. وهذا التدفق الداخلي سوف يعمل على تحريك القشرة

بولاية كاليفورنيا الأمريكية. فعلى امتداد هذا الفالق ينزلق لوح المحيط الهادى في اتجاه الشمال الغربى مجتازاً لوح أمريكا الشمالية. ولا تمر هذه الحركة على امتداد الطرفين دون ملاحظة. فبينما ينزلق اللوحان يتراكم الضغط في الصخور على جانبي الفالق المتقابلين. ويتم تحرير هذا الضغط في شكل هزات أرضية، مثل التي دمرت مدينة سان فرانسيسكو عام 1906.

ولقد تبين حديثاً أن تأثير الألواح ببعضها على امتداد أطرافها هو السبب في معظم النشاط البركاني والزلازل وبناء الجبال. وعلاوة على ذلك فإن هذه الأطراف لا تدمر عبر

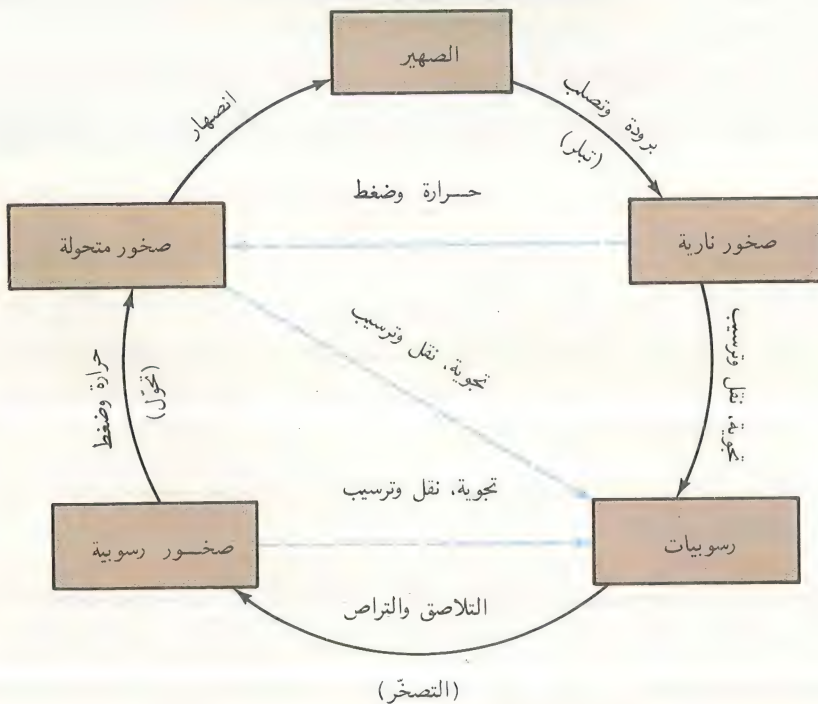
وأول أنواع الصخور هي الصخور النارية التي تنشأ عندما تبرد المواد المنصهرة المسماة بالصهير وتجمد إلى صخور تسمى هذه العملية بالتبلر، وهو يحدث في أعماق الأرض أو فوق سطحها بعد عملية تفجر البراكين. ويعتقد بأن الأرض كانت منصهرة عند نشأتها الأولى أو قبل ذلك مباشرة. ولهذا فإن الصخور النارية هي أول الصخور المكونة للقشرة الأرضية.

وعندما تظهر هذه الصخور النارية فوق سطح الأرض فإنها تتعرض لعمليات التجوية التي تعمل على تفتيتها يوماً بعد يوم إلى فتات صغير. وهذا الفتات تجرفه عوامل التعرية مثل الجاذبية والمياه الجارية والكتل الجليدية والأمواج حيث تنقله إلى مواقع الترسيب. وبمجرد ما يتراكم هذا الفتات الصخري المسمى بالرواسب في صورة طبقات أفقية في المحيطات، تبدأ عملية التصرخ، وهي تعنى عملية التحول إلى صخر. وتتصخر الرواسب عندما تتضاغط تحت ثقل الطبقات التي فوقها أو عندما تلتحم مع بعضها بمرور المياه

الخارجية الصلبة للأرض. ولهذا فإنه طالما بقى المحرك الحرارى الداخلى للأرض يعمل، فإن مواقع وأشكال القارات والأحواض المحيطية سوف تتغير وسوف تبقى الأرض كوكبا دائب الحركة. وسنبحث في الفصول الباقية بتفصيل أكثر نشاط هذا الكوكب في ضوء نموذج تحرك الألواح.

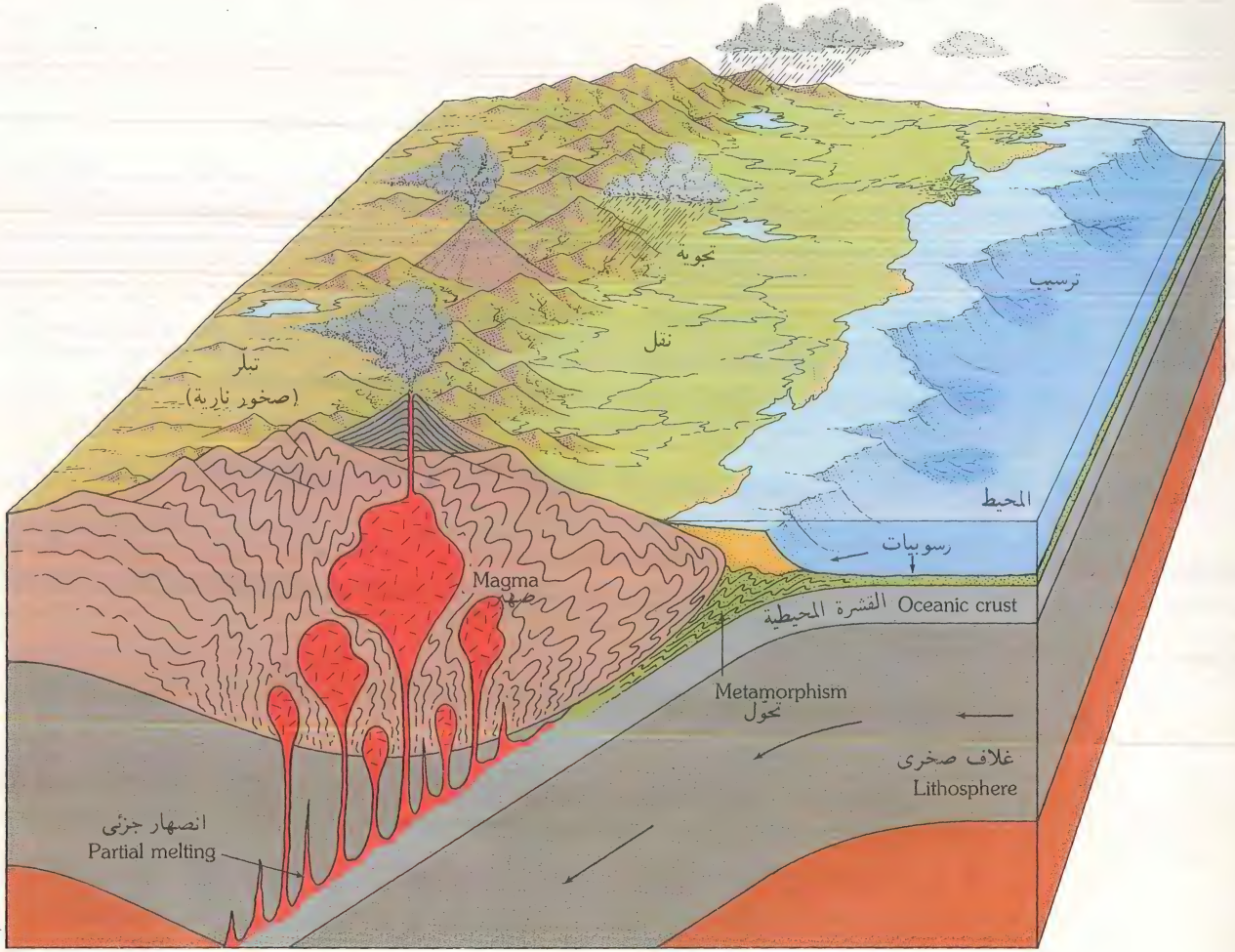
دورة الصخور

تمثل دورة الصخور إحدى الوسائل لفهم عدد من العلاقات المتشابهة في الجيولوجيا. ودراستنا لدورة الصخور يمكننا أن نؤكد نشأة الأنواع الأساسية الثلاثة للصخور ونطلع على دور العمليات الجيولوجية المختلفة التي تعمل على تغير الصخور من نوع إلى آخر. وأول من اقترح مبدأ دورة الصخور الذى يعتبر الخطوط العريضة لمبادئ علم الجيولوجيا الطبيعية، هو جيمس هاتون. وفي دورة الصخور هذه (شكل 1 - 16) تشير الأسهم إلى العمليات، أما المواد فهي مبينة في المستطيلات.



شكل 1 - 16
دورة الصخور.

كان جيمس هاتون أول من اقترحها، وهي توضح دور العمليات الجيولوجية في انتقال أى نوع من الصخور إلى نوع آخر.



شكل 1 - 17

دورة الصخور حسب نموذج حركة الألواح.

وعادة لا تكتمل هذه الدورة كما وصف آنفا. فهناك دورات قصيرة أشير إليها بخطوط متقطعة في شكل (1 - 16). وعلى سبيل المثال، بدلا من تعرض الصخور النارية لعمليات التجوية والتعرية عند سطح الأرض، فإنها قد تتعرض للضغط والحرارة في أعماق الأرض وتتبدل مباشرة إلى صخور متحولة،² بينما قد تتعرض الصخور الرسوبية والمتحولة والرواسب الصخرية، للتجوية عند سطح الأرض وتتحول إلى مواد أولية جديدة تتكون منها الصخور الرسوبية.

الجوفية عبرها التي تملأ الفراغات البينية بمواد معدنية. وإذا ما دفنت الصخور الرسوبية تحت أعماق كبيرة في باطن الأرض أو شهدت حركات بناء الجبال، فإنها تتعرض لضغط وحرارة كبيرين، مما يؤثر عليها فتتبدل حسب البيئة المتغيرة إلى النوع الثالث من الصخور وهو الصخور المتحولة. وعندما تتعرض الصخور المتحولة إلى حرارة وضغط أكثر، فإنها سوف تنصهر مكونة بذلك صهيرا وهذا بدوره يتصلب كصخور نارية.

القارة، سوف تتوقف لأن هذه المناطق عادة ما تصبح أطرافاً ملائمة حيث تبدأ الألواح المحيطية في الغوص. وعلى امتداد الحواف القارية النشطة تشكل الألواح المتقاربة الصخور الرسوبية وتحولها إلى أحزمة متوازية من الصخور المتحولة. هذا بالإضافة إلى أن الألواح المحيطية عند غوصها تنزل معها بعض الرواسب التي فوقها والتي لم ترتفع على هيئة جبال، وذلك لتصل إلى الغلاف الوهن، حيث تمر بعمليات التحول. وفي النهاية فإن جزءاً من هذه المواد قد يصل أعماقاً سحيقة، حيث الضغط والحرارة كافية لبدء عملية الانصهار. وسوف يصعد هذا الصهير الجديد إلى أعلى ويندلع عند السطح. ويتولد عن تبلر هذا الصهير صخور نارية تكون عرضة لعوامل التجوية، لتبدأ دورة الصخور من جديد.

وعندما اقترح جيمس هاتون لأول مرة دورة الصخور، لم تتوفر سوى معلومات قليلة عن العمليات التي يتم بها تبدل صخر إلى نوع آخر من الصخور رغم وجود أدلة على هذا التبدل. وفي الحقيقة، لم تصبح الصورة المكتملة واضحة إلا في عهد قريب بعد تطور نظرية حركية الألواح القارية.

ويوضح شكل (1 - 17) دورة الصخور بطريقة نموذج تحرك القارات. وحسب هذا النموذج تنتقل المواد التي تعرضت للتجوية من الأراضي المرتفعة إلى حواف القارات، حيث تترسب في طبقات يبلغ سمكها مجتمعة آلاف الأمتار. وتمثل هذه الرواسب بعد تصخرها حشوة من الصخور الرسوبية تحيط بحافة القارة.

وفي النهاية فإن عملية الترسيب الهادئة على حافة

أسئلة

للمراجعة :

- 1 - تنقسم الجيولوجيا إلى مجالين واسعين. أذكر كلا منهما مع الشرح.
- 2 - صف باختصار تأثير أرسطو على علم الجيولوجيا.
- 3 - كيف كان المؤيدون لنظرية الكوارث يفكرون تجاه عمر الأرض؟
- 4 - صف نظرية الانتظام. كيف يفكر المدافعون عن هذه النظرية تجاه عمر الأرض؟
- 5 - صف باختصار مساهمة كل من بلايفير ولاييل في علم الأرض.
- 6 - ما هو عمر الأرض كما يعرفه الجيولوجيون اليوم؟
- 7 - لقد تم تأسيس التقويم الجيولوجي دون استعمال التأريخ الإشعاعي. ما هي المبادئ التي استخدمت في تطوير هذا التقويم؟
- 8 - فرق بين الغلاف الوهن والغلاف الصخري للأرض.
- 9 - الشاطئ الحالي للبحار لا يمثل الحد الفاصل بين الألواح القارية والأحواض المحيطية. اشرح ذلك.
- 10 - مع أي نوع من أطراف الألواح يقترب كل من الأشياء الآتية :
نطاق غوص القارات، فالق سان أندرياس، انتشار قيعان البحار.
- 11 - باستعمال دورة الصخور، اشرح الجملة التي تقول: «كل صخر يعتبر مادة خام لصخر آخر».

metamorphic rocks	الصخور المتحولة
igneous rocks	الصخور النارية
magma	الصهير
outer core	اللب الخارجى
inner core	اللب الداخلى
Epoch	العصر
atmosphere	الغلاف الجوى
lithosphere	الغلاف الصخرى
hydrosphere	الغلاف المائى
asthenosphere	الغلاف الوهن
crust	القشرة
mantle	الوشاح
sea floor spreading	انفراج قاع البحر
faunal succession	تعاقب الكائنات
superposition	تتابع الطبقات
plate tectonics	تحرك الألواح
rock cycle	دورة الصخور
plate	لوح
Precambrian	ما قبل الكمبرى
subduction zone	نطاق الغوص
oceanic ridge system	نظام مرتفعات المحيط
uniformitarianism	نظرية الانتظام
catastrophism	نظرية الكوارث

الكلمات الدالة :

transform fault boundary	أطراف فالق التحويل
fossils	المستحاثات
divergent boundary	الحواف المتباعدة
convergent boundary	الحواف المتقاربة
nebular hypothesis	الافتراض السديمى
relative dating	التأريخ النسبى
crystalization	التبلر
weathering	التجوية
lithification	التصخر
continental shelf	الرف القارى
geology	الجيولوجيا
historical geology	الجيولوجيا التاريخية
physical geology	الجيولوجيا الطبيعية
Period	الحين
trench	خندق
Era	الدهر
Mesozoic Era	الدهر الأوسط
Cenozoic Era	الدهر الحديث
Paleozoic Era	الدهر القديم
shelf	الرف
sediments	الرواسب
sedimentary rocks	الصخور الرسوبية

2



المادّة والمعادن

2



الفرق بين الصخور والمعادن تركيب المادة:

- التركيب الذرى.

- الترابط

- الكتلة الذرية.

البنية البلورية للمعادن

الخواص الطبيعية للمعادن

- الشكل البلورى

- البريق

- اللون

- المخدش (العرق)

- الصلابة

- الانفصام

- المكسر

- الكثافة النوعية

المجموعات المعدنية

البنية البلورية للسليكات

معادن السليكات

- سليكات الحديد والماغنيسيوم

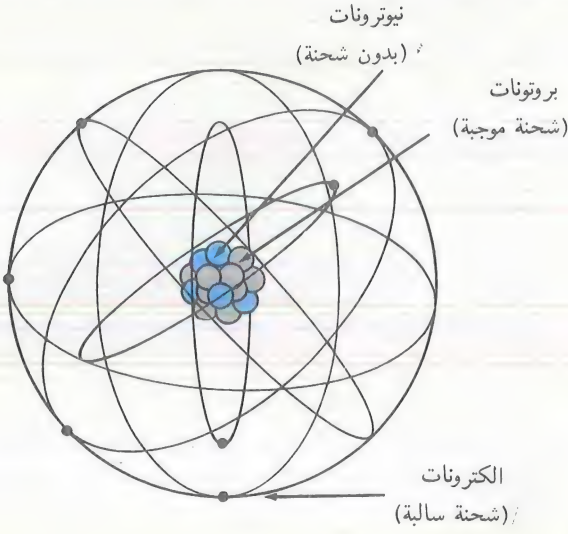
- سليكات غير الحديد والماغنيسيوم

معادن اللاسليكات

ان سمك الغلاف الخارجى، والذي نسميه بالقشرة، لا يعدو سمك الغشاء الخارجى الذى يغطى ثمرة الخوخ، اذا ما قورن بباقى الأغلفة المكونة للأرض. ومع هذا فهو ذو أهمية بالغة بالنسبة لنا. فنحن نعتمد عليه فى الوقود الحجرى وفى كونه مصدرا لعدة معادن، مثل تلك لمسحوق الأطفال، والملح اللازم للطعام، والذهب للتجارة العالمية. وفى الحقيقة فان توفر بعض مواد الأرض من عدمه فى بعض الأحيان قد غير مجرى التاريخ.

وبالاضافة الى الأهمية الاقتصادية للصخور والمعادن

بلورات الكوارتز تظهر شكلا بلورياً متميزاً.



شكل 2 - 1

نموذج مبسط لذرة. تتكون الذرات من نواة مركزية مكونة من بروتونات ونيوترونات وتحيط بالنواة الإلكترونات.

خصائص الصخور عن طريق معرفة التركيب الكيميائي والترتيب الداخلي للمعادن المكونة لها.

تركيب المادة

المعادن، هي كغيرها من المواد، مكونة من عناصر. ويبلغ عدد العناصر المعروفة في الوقت الحاضر أكثر من مئة عنصر. ويبلغ ما تم تركيزه في المعمل حوالي 18 عنصراً. وتتكون بعض المعادن مثل: الذهب والكبريت، من عنصر واحد فقط، ولكن معظم المعادن تتكون من عنصرين أو أكثر تتحد لتكون مركباً ثابتاً. ولكي نستطيع فهم كيف يتم اتحاد العناصر. لتكوين مركبات، لا بد لنا من أن نتناول الذرة. وهي أصغر جزء من المادة تتوفر فيه خصائص العنصر. وزيادة على ذلك فإن هذا الجزء الصغير هو الذي يدخل في عمليات التفاعل جميعها المصاحبة لتكوين العناصر وتواجدها على شكل مركبات.

التركيب الذري

الذرات المنفردة هي أصغر من أن نشاهدها بالعين المجردة، ولهذا فإن مفهوم التركيب الذري قد دلت عليه التجربة والنماذج الرياضية. ويوضح شكل 2 - 1 نموذجاً

المكونة للقشرة الأرضية، فإن جميع الظواهر التي يدرسها الجيولوجيون، هي، بشكل أو بآخر، تعتمد على خواص هذه المواد. فالأحداث الأساسية المكونة للقشرة الأرضية مثل: البراكين، وبناء الجبال، والتجوية والتعرية وحتى الزلازل، جميعها لها علاقة بهذه المواد الأساسية من الصخور والمعادن. وبناء على ذلك فإن المعرفة الأساسية لهذه المواد المستمدة من القشرة الأرضية ضرورية لفهم كافة الظواهر الجيولوجية.

الفرق بين الصخور والمعادن

يتصور كثير من الناس، الصخور على أنها أشياء صلبة، وغالباً ما تكون قذرة. وكثير من الناس أيضاً يعتبر المعادن مواد مكتملة للغذاء، أو ربما خامات نادرة أو أحجاراً كريمة، ويتم تعدينها عادة لقيمتها الاقتصادية، ولكن هذا المفهوم في الواقع بعيد كل البعد عن الحقيقة.

ويمكن تعريف الصخر على أنه تجمع لمعدن أو أكثر. وهنا تعني كلمة تجمع: تواجد المعادن مع بعضها كخليط يحتفظ فيه كل معدن بخصائصه. ولو أن معظم الصخور تشتمل على عدة معادن، إلا أن بعض المعادن توجد أحياناً بمفردها وبكميات كثيرة. ويمكن اعتبارها في هذه الحالة على أنها تمثل معدناً أو صخوراً مكوناً من معدن واحد. ومن الأمثلة الشائعة معدن الكلسيت الذي يعتبر المكون الرئيسي لوحدات صخرية كبيرة تسمى بالحجر الجيري.

وعلى النقيض من ذلك، فإن المعادن تعرف على أنها جوامد طبيعية غير عضوية لها هيكل داخلي ثابت وتركيب كيميائي معلوم. وبالرغم من دقة هذا التعريف فإنه لا يخلو من بعض الغيوب، فمثلاً، يستثنى هذا التعريف المركبات العضوية في الوقت الذي يعتبر فيه معظم الجيولوجيين الفحم الحجري والنفط من المواد المعدنية. هذا بالإضافة إلى أن التركيب الكيميائي لكثير من المعادن يتفاوت على مدى واسع. ويعالج هذا الفصل بالدرجة الأولى طبيعة المعادن ولكن يجب أن نتذكر دائماً أن الصخور هي عبارة عن تجمعات لمعدن أو أكثر. ولهذا فإنه يمكن التعرف على

التي تدخل في التفاعلات الكيميائية عادة ما توجد في المسار الخارجى وباستثناء المسار الأول الذى يتسع لألكترونين فقط فان هذا المسار يتسع لثمانية الكترونات كحد أقصى وكما سنرى فيما بعد فإن الالكترونات التي في المسار الخارجى هي التي تدخل في عملية الترابط الكيميائى.

الترابط

يحدث الترابط الكيميائى عندما تتحد ذرات عنصرين أو أكثر لتكون مركبًا. وعندما تنفصل الذرات ينفك الترابط ويتحلل المركب. ومن خلال التجارب أمكن معرفة أن القوى الرابطة للذرات هي قوى كهربائية في الطبيعة. هذا كما أمكن معرفة أن الترابط ينتج عنه تغير في التركيب الالكترونى للذرات المتحدة. ولهذا فان التوزيع المكانى للالكترونات في الذرات المترابطة مهم جدا لتحديد قوة وطبيعة الترابط الكيميائى الذى ينشأ بين الذرات.

وتحتوى معظم العناصر عادة على أقل من الحد الأقصى لعدد الالكترونات في مساراتها الخارجية. الغازات الخاملة فقط، مثل غاز النيون والأرجون هي وحدها التي لها مسارات خارجية كاملة أو مشبعة، مما يفسر استقرارها الكيميائى وعدم تفاعلها مع بعضها أو مع غيرها من العناصر. ولكن كل الذرات تقبل الى تكملة مساراتها الخارجية لتصبح مستقرة كيميائيا مثل الغازات الخاملة. والقاعدة الثانية، التي تعنى مجموعة من ثمانية تشير الى مفهوم اكتمال المسار الأخير لمستوى الطاقة. وببساطة فان قاعدة الثانية تقول بأن الذرات تتحد فيما بينها لينظر ترتيب الالكترونات بها ما هو موجود في الغازات الخاملة. حيث يحتوى المسار الخارجى على 8 الالكترونات.

ولكى تنطبق قاعدة الثانية على أى ذرة، فانه يجب أن تحصل على، أو تفقد، أو تشترك في الالكترونات مع واحدة أو أكثر من الذرات. ونتيجة لهذه العملية فانه تنشأ قوة كهربائية تربط الذرات ببعضها. وتسمى الالكترونات التي تربط الذرات ببعضها بالالكترونات التكافؤ. ويحدد عدد الالكترونات

معروفا للتركيب الذرى. وتسمى المنطقة المركبة من كل ذرة بالنواة. وهي تحتوى على عدد من البروتونات ذات كثافة عالية وشحنات موجبة، وعددا آخر من الأجسام ذات شحنات سالبة تسمى الالكترونات. وخلافا لدوران الكواكب البطيء تدور الالكترونات بسرعة فائقة لدرجة لا يمكن تحديد موقعها. ولهذا فانه يمكن الحصول على صورة أكثر دقة لمواقع الالكترونات، اذا تصورنا أن سحابة من هذه الالكترونات تحيط بالنواة من كل جانب. ومن المعروف أيضا أنه توجد الالكترونات المنفردة على مسافات محددة من النواة في مناطق تعرف بمسارات مستويات الطاقة. وكما سنرى فيما بعد، فان الحقيقة الهامة حول هذه المسارات هي أن كلا منها لا يستوعب الا عددا محددًا من الالكترونات. ويحدد عدد البروتونات في النواة العدد الذرى كما يحدد الاسم الذرى للعنصر. فمثلا جميع الذرات التي تحتوى على 6 بروتونات هي ذرات عنصر الكربون، وجميع الذرات التي تحتوى على 8 بروتونات هي ذرات عنصر الأكسجين، أى أن العدد الذرى يساوى أيضا عدد الالكترونات التي تحيط بالنواة. ونتيجة لذلك، فان الشحنات الموجبة في البروتونات تعادل الشحنات السالبة في الالكترونات وبذلك تكون كل ذرة جسيما متعادلا. ويمكن اعتبار كل عنصر على أنه مجموعة كبيرة من الذرات المتعادلة كهربائيا والتي لها نفس العدد الذرى.

ويحتوى الهيدروجين، الذى هو أبسط العناصر على ذرات مكونة من بروتون واحد في النواة والكترون واحد حولها. وكل من العناصر المتتالية والمتدرجة في الثقل يزيد على سابقه بروتون واحد والكترون واحد، بالاضافة الى عدد من النيوترونات (جدول 2 - 1). وقد بينت دراسة ترتيب الالكترونات أنه يتم اضافة كل الكترون بشكل مرتب الى مستوى طاقة أو مسار معين مناسب له وبصفة عامة فان الالكترونات تنتقل الى مسارات اعلى عندما تكتمل المسارات الأدنى منها. ويتسع المسار الأول لالكترونين اثنين فقط بينما يتسع المسار التالى له لثمانية الكترونات أو أكثر. الالكترونات

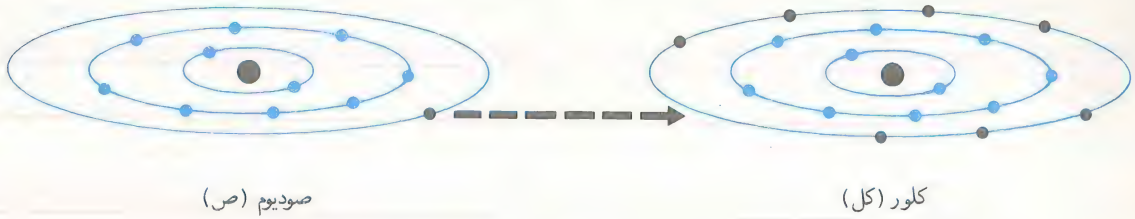
جدول 2 - 1 الرقم الذرى وتوزيع
الالكترونات فى المسارات الرئيسة:

العنصر	الرمز	العدد الذرى	عدد الالكترونات فى كل مسار			
			1	2	3	4
الهيدروجين	يد H	1	1			
الهيليوم	هـ He	2	2			
الليثيوم	لى Li	3	2	1		
البريلليوم	بر Be	4	2	2		
البورون	ب B	5	2	3		
الكربون	ك C	6	2	4		
النيتروجين	ن N	7	2	5		
الأكسجين	أ O	8	2	6		
الفلور	فل F	9	2	7		
النيون	نى Ne	10	2	8		
الصوديوم	ص Na	11	2	8	1	
الماغنيسيوم	ما Mg	12	2	8	2	
الألومنيوم	لو Al	13	2	8	3	
السليكون	س Si	14	2	8	4	
الفوسفور	فو P	15	2	8	5	
الكبريت	كب S	16	2	8	6	
الكلور	كل Cl	17	2	8	7	
الأرجون	أر Ar	18	2	8	8	
البوتاسيوم	بو K	19	2	8	8	1
الكالسيوم	كا Ca	20	2	8	8	2

استعمال الصوديوم (ص) والكلور (كل) لانتاج كلوريد الصوديوم (ملح الطعام) كما هو مبين فى شكل (2 - 2). وهنا يفقد الصوديوم الكترونه الخارجى الوحيد لصالح الكلور. وبهذا يصل الصوديوم الى الترتيب الموجود فى غاز النيون المحتوى على زوج من الالكترونات فى المسار الأول وثمانية فى مساره الخارجى. وتعمل ذرة الكلور على ملء مسارها الخارجى بإضافة إلكترون واحد لتصل الى الترتيب الموجود فى عنصر الأرجون. ولكن هذه الذرات لم تعد متعادلة كهربائيا لأنه لا يتساوى عدد الالكترونات وعدد البروتونات

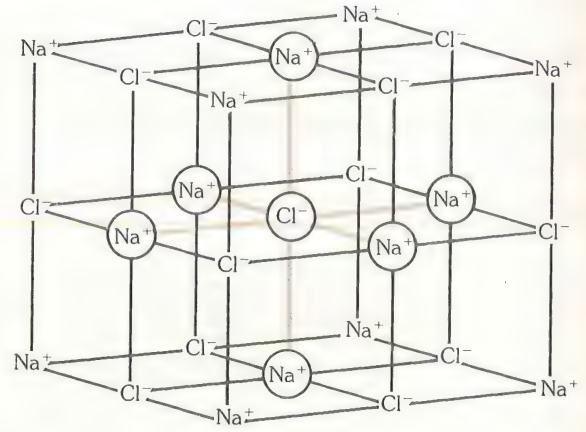
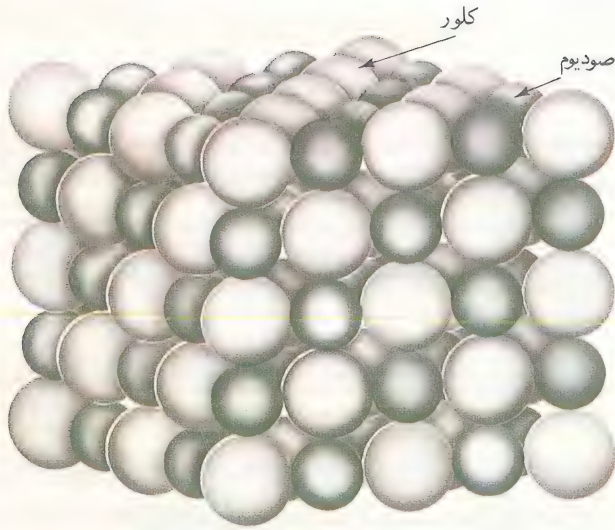
التكافؤ عدد المرات الرابطة. فالسليكون مثلا يحتوى على أربعة الكترونات تكافؤ ويكوّن أربعة وصلات لاستكمال مساره الخارجى بينما يكوّن الأكسجين وصلتين والهيدروجين وصلة واحدة.

الترباط الأيونى: يعتبر الترباط الأيونى أبسط ترباط يمكن تصوره. ففيه ينتقل الكترون تكافؤ أو أكثر من ذرة الى أخرى. وتصبح احدى الذرات مستقرة بالاستغناء عن الكتروناتها التكافؤية بينما تستعملها الذرة الأخرى لاستكمال مسارها الخارجى. ومن أمثلة الترباط الأيونى،



شكل 2 - 2

الترايط الأيونى بين الصوديوم والكلور ليكوّن كلوريد الصوديوم. عند انتقال الكترون واحد من الصوديوم الى الكلور يصبح الصوديوم أيوناً موجب الشحنة ويصبح الكلور أيوناً سالب الشحنة.



شكل 3 - 2

رسم توضيحي لترتيب أيونات الصوديوم والكلور في ملح الطعام. أ - توضيح الهيكل من الداخل وفيه ترتيب الأيونات. ب - الأيونات الحقيقية كما تبدو متراصة.

تناوب ذرات الصوديوم والكلور التى يترتب وضعها بحيث أن كل أيون موجب يتجاذب مع ويحيط به من كل جانب أيونات سالبة، والعكس بالعكس. ولهذا فإن المركبات الأيونية هى عبارة عن ترتيب منظم من الأيونات مختلفة الشحنات تتجمع بنسبة ثابتة يتحقق بواسطتها التعادل الكهربائى.

وهذا هو المكان المناسب للإشارة الى أن المركبات الكيميائية تختلف نهائيا عن خواص العناصر المكونة لها.

فى أى منها. ومثل هذه الذرات التى لا تحتوى على شحنات متساوية بسبب كسبها أو فقدتها للالكترونات تسمى بالأيونات. ويصبح الصوديوم أيوناً ذا شحنة موجبة. أما الكلور فيصبح أيوناً ذا شحنة سالبة. وينتج الترايط الأيونى من تجاذب هذه الجسيمات المختلفة فى الشحنة. ويقال ببساطة أن الأيونات المختلفة الشحنات تتجاذب لتكوّن مركباً كيميائياً متعادلاً. ويوضح شكل (2 - 3) ترتيب ذرات الصوديوم والكلور فى ملح الطعام. لاحظ أن الملح يتركب من

الكلور. وعن طريق تداخل المسارات الخارجية فان الكلورنا واحداً في كل ذرة كلور من بين الالكترونات السبعة في مسارها الخارجى يكمل المسار الخارجى للذرة المشاركة مكونا الثانى المستقر. والترابط الناتج عن اشتراك الالكترونات لتصل الى حالة من حالات الغاز الحامل المستقرة تسمى بالترابط التساهمى. وتحتوى السليكات التي هي من أكثر المجموعات المعدنية شيوعاً على السليكون الذى هو جاهز دائماً لتكوين الروابط التساهمية مع الأكسجين.

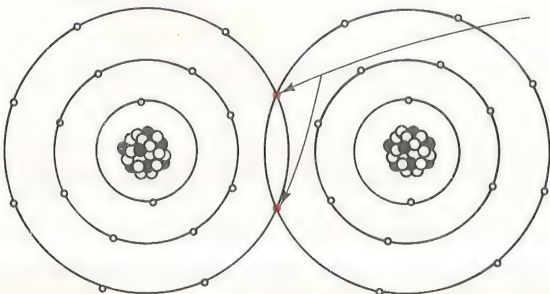
ويمكن أن تساعد أمثلة القياس على فهم تصور الرباط التساهمى. لو تصورت أن شخصين يجلسان في النهايتين المتقابلتين لغرفة قليلة الاضاءة وكلاهما يقرأ قرب مصباح، فإذا نقلنا المصباحين لوسط الغرفة فانه يمكنهما مضاعفة الاضاءة لصالح كل منهما ليرى بوضوح. ومثلما يتعذر تحديد مصدر الضوء المتداخل، فانه لا يمكن فرز الالكترونات المشاركة من بعضها.

ولا بد من الإشارة الى أن معظم الروابط الكيميائية هي في الحقيقة مزيج يحتوى من جهة اشتراكا الكترولينا كما هو الحال في الترابط التساهمى. والى حد ما يحتوى على انتقال للالكترونات كما في الترابط الأيونى. وإضافة الى ذلك، يوجد نوع آخر من الاشتراك الالكترونى غير العادى وفيه تتحرك الالكترونات بحرية من ذرة الى أخرى. ويوجد هذا النوع من الترابط في الفلزات مثل النحاس والذهب والألمونيوم والفضة. وتطلق لفظة الترابط الفلزى على هذا النوع من الاشتراك الالكترونى. ويفسر الترابط الفلزى ظاهرة ارتفاع

فمثلاً الكلور هو عبارة عن غاز مخضر سام ودرجة سموميته عالية حتى أنه استعمل كسلاح أثناء الحرب العالمية الأولى. أما الصوديوم فهو معدن فضى رخو وسام أيضاً يتفاعل بشدة مع الماء، فإذا ما أمسكت بقطعة منه فانه سيسبب لك حروقا شديدة. وعندما يتحد العنصران ينتج عنهما كلوريد الصوديوم (ملح الطعام) الذى هو مادة بلورية شفافة وضرورية لحياة الانسان. وهذا المثال يوضح الفرق بين الصخر والمعدن. فالمعدن عبارة عن مركب كيميائى له خواص فريدة ومختلفة تماماً عن العناصر التى تدخل في تركيبه. أما الصخر فهو، من ناحية أخرى، خليط من معادن كل منها محتفظ بخصائصه المميزة.

الروابط التساهمية: لا تتحد كل الذرات لتكوّن أيونات عن طريق الترابط بكسب أو فقدان للالكترونات، فمثلاً توجد العناصر الغازية كالأكسجين (أ₂) والهيدروجين (يد₂) والكلور (كل₂) على هيئة جزيئات ثابتة محتوية على ذرتين مترابطتين مع بعضهما بدون أن تنتقل الكترولنتهما انتقالاً كاملاً. ويعد مثل هذا الترابط ضرورياً لأنه حتى لو حدث وأن قبلت احدى الذرات في كل زوج واحداً أو أكثر من الالكترونات لتكوّن ثانياً مستقراً، فان الذرة الأخرى سوف تتعد عن حالة الاستقرار. وبدلاً من ذلك يمكن الحصول على ثمانى مستقر عندما تتشارك الذرتان في الالكترونات التى بمساريهما الخارجيين. ويوضح شكل 2 - 4 الاشتراك في زوج من الالكترونات بين ذرتين من الكلور لتكون جزيئاً من غاز

زوج مشترك
من الالكترونات



شكل 2 - 4

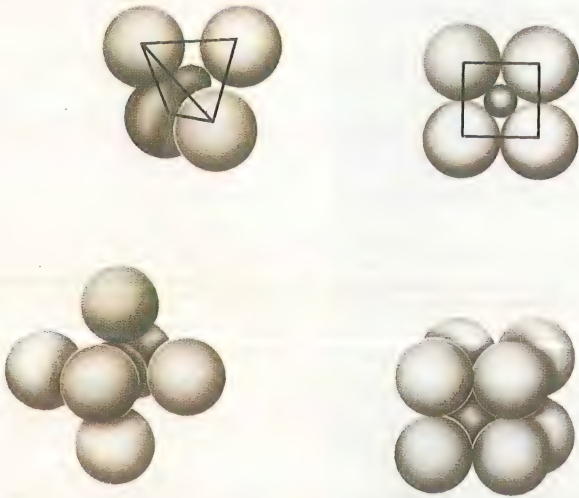
رسم توضيحي يظهر الترابط التساهمى بين ذرتين من عنصر الكلور وهما تقسمان زوجاً من الالكترونات لتكونا جزيء غاز الكلور.

الاشعاعى وهى تحدث عندما تصبح القوة التى تربط النواة مع بعضها ضعيفة. ويمكن قياس المعدلات التى يتم بها تفكك (تآكل) النوى غير المستقرة، وهذا يجعل مثل هذه العناصر عدّادات مفيدة فى تحديد عمر الحوادث فى تاريخ الأرض (يحتوى الفصل التاسع عشر على مناقشة تفصيلية للنشاط الاشعاعى وتطبيقاته فى تحديد عمر الحوادث فى الماضى الجيولوجى).

البنية البلّورية للمعادن

يحتوى المعدن على صفوف منتظمة من الذرات المترابطة كيميائيا لتشكل بنية بلّورية معينة. وينعكس هذا التصنيف المنتظم للذرات فى أجسام ذات أشكال منتظمة نسميها بالبلّورات (أنظر الصورة الافتتاحية لهذا الفصل).

ما الذى يحدد البنية البلّورية الخاصة بكل معدن؟ بالنسبة للمركبات المكونة من أيونات، فإن الترتيب الداخلى للذرات تحدده جزئيا الشحنات التى تحملها هذه الأيونات، ويحددها أيضا، وهو المهم، حجم الأيونات المعنية. وحتى



شكل 2 - 5

التراس النموذجى المنتظم لعدة أحجام من الأيونات الموجبة والأيونات السالبة.

التوصيل الكهربائى فى الفلزات والسهولة التى يتكيف بها شكل الفلزات وعدد آخر من الخواص التى تميزها.

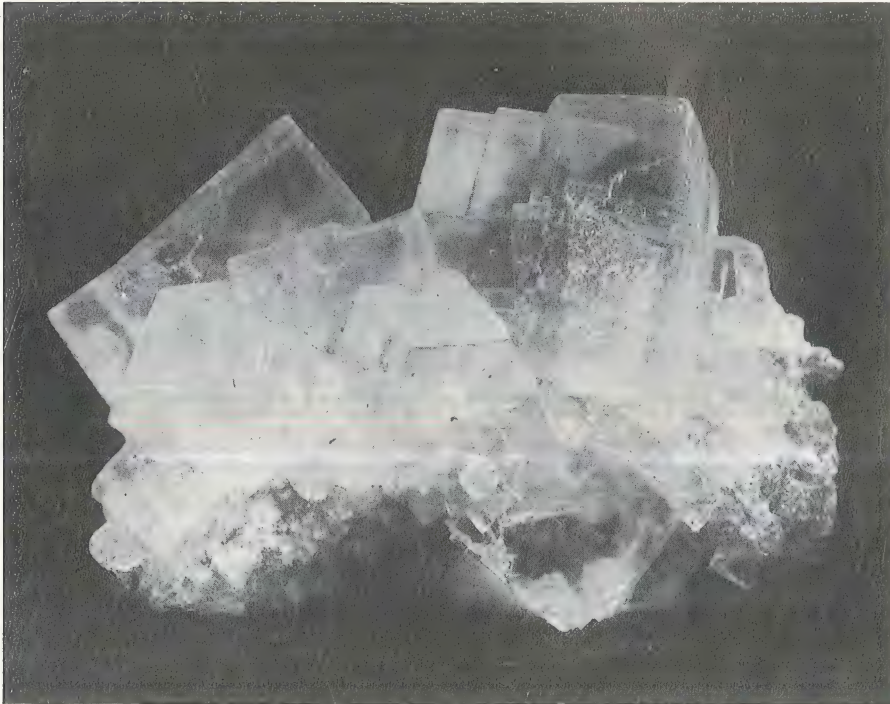
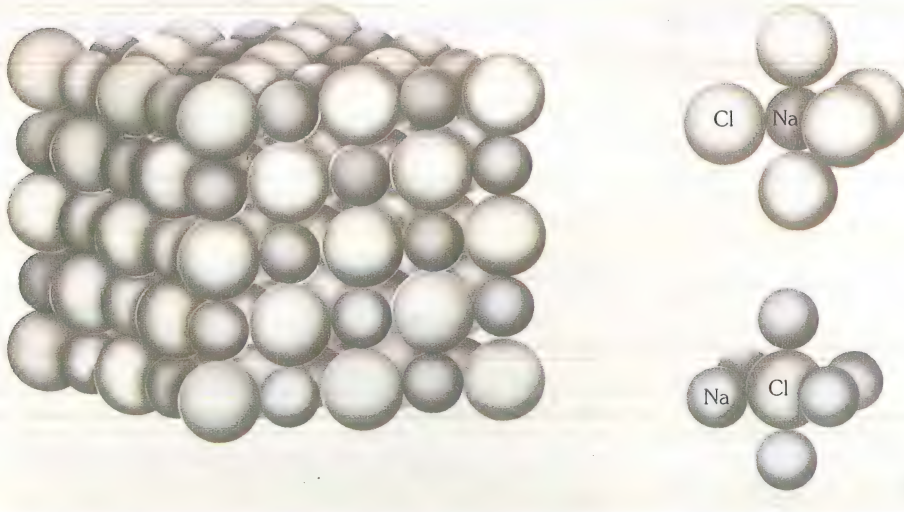
الكتلة الذرية

تعتبر الجسيمات المكونة للذرات مثل البروتونات ضئيلة جدا لدرجة أن وحدات خاصة وضعت لتحديد وزنها. فلكل من البروتون والنيوترون كتلة أكبر بقليل من وحدة الكتلة الذرية، بينما يشكل الإلكترون جزءا من 2000 جزء تقريبا من وحدة الكتلة الذرية. ولهذا برغم الدور الذى تلعبه الإلكترونات فى التفاعلات الكيميائية فإن مساهمتها فى الكتلة الذرية تكاد لا تذكر. ويمكن الحصول على الكتلة العددية للعنصر بإضافة عدد النيوترونات الى عدد البروتونات فى النواة. ومن الطبيعى جدا أن تحتوى ذرات العنصر الواحد على أعداد متفاوتة من النيوترونات وأن تختلف فى وزنها الذرى، ومثل هذه الذرات يسمى نظائر لذلك العنصر. فمثلا هناك نظيران معروفان لعنصر الكربون، الكتلة الذرية لأحدهما 12 (كربون 12) وكتلة الآخر 14 (كربون 14). تذكر أن كل ذرات العنصر الواحد لا بد أن تحتوى على نفس العدد من البروتونات (العدد الذرى) وأنه يساوى 6 دائما بالنسبة للكربون. ولهذا فإن كربون - 12 به 6 نيوترونات ليساوى وزنه الذرى 12، بينما كربون - 14 به 8 نيوترونات ليساوى وزنه الذرى 14. والعدد الذى يستعمل عادة للتعبير عن متوسط الكتل الذرية لنظائر أى عنصر هو الوزن الذرى. فالوزن الذرى للكربون هو أقرب الى 12، لأن كربون - 12 هو أكثر النظيرين شيوعا. ويجب الإشارة الى أنه لا يمكن التفريق كيميائيا بين نظائر أى عنصر. ويشبه ذلك محاولة التفريق بين مجموعة من الأشياء المتشابهة التى لها نفس الشكل والحجم واللون ولكن بعضها أثقل قليلا من بعض.

وبالرغم من أن معظم الذرات مستقرة، إلا أن كثيرا من العناصر لها نظائر غير مستقرة. فالنظائر غير المستقرة مثل كربون - 14 تمر بعملية تآكل طبيعى تسمى بالنشاط

ويوضح شكل 2 - 5، عدة احتمالات نموذجية هندسية لأيونات ذات أحجام مختلفة. فلقد فحصنا فيما سبق الترتيب الهندسي لأيونات الصوديوم والكلور في معدن الهاليت. وفي شكل 2 - 6، على مقياس أكبر، نرى أن التصفيف المنتظم

تتكون مركبات أيونية مستقرة، فإن كل أيون موجب يحيط به أكبر عدد ممكن من الأيونات السالبة المناسبة من حيث الحجم، بينما تتم المحافظة على تعادل الشحنات، والعكس صحيح.



شكل 2 - 6

الهيكال البلوري لكلوريد الصوديوم.
(أ) - النسق بين أيونات الصوديوم وأيونات الكلور في معدن الهاليت.
(ب) - الترتيب المنتظم على مستوى الذرات يعطى بلورات لها شكل منتظم.

المتباعدة ضعيفة الترابط (شكل 2 - 7 ب). وحيث أنه يسهل انزلاق هذه الصفائح عن بعضها، فإن الجرافيت يكون مادة تشحيم ممتازة.

الخواص الطبيعية للمعادن

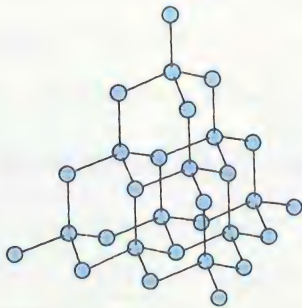
المعادن هي مواد متكونة عن نشاط غير عضوى. وذرات كل معدن لها ترتيب منظم (البنية البلورية) وتركيب كيميائى محدد والذي يعطيه مجموعة من الخواص الطبيعية المميزة. وبما أنه يصعب تحديد البنية الداخلية والتركيب الكيميائى للمعادن دون مساعدة الأجهزة والأدوات العلمية المعقدة، فإنه يمكن استعمال الخواص الطبيعية التى تسهل ملاحظتها فى التعرف على المعادن. وفيما يلى مناقشة لبعض الخواص الطبيعية المميزة للمعادن.

الشكل البلورى

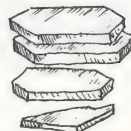
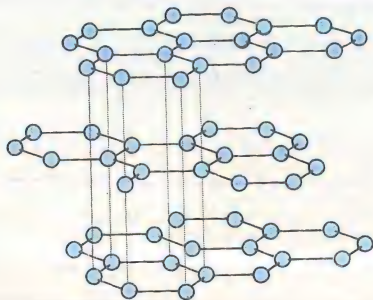
يعتقد الكثيرون أن البلورات نادرة الوجود فى الوقت الذى نعرف أن معظم المواد الصلبة غير العضوية مكونة من

لأيونات الصوديوم والكلور ينتج بلورات الهاليت المكعبة. ومثل الهاليت، فإن عينات كل معدن تحتوى على نفس العناصر متحدة مع بعضها بنفس الترتيب المنتظم. ورغم أنه من المسلم به أن لكل معدن بنية داخلية معينة، إلا أن بعض العناصر يمكن أن تتحد مع بعضها بأكثر من طريقة. ولذلك، فإنه يمكن وجود معدنين مختلفين فى الخواص ولكنهما متفقين تماما فى التركيب الكيميائى. وتسمى المعادن من هذا النوع بالمعادن متعددة الشكل. ومن الأمثلة الشهيرة معدنى الجرافيت والماس لأنها يتركبان كلياً من الكربون رغم اختلافهما الشديد فى الصورة. فالجرافيت هو المادة الرمادية اللينة المستعملة فى أقلام الرصاص، بينما الماس هو أصلب معدن معروف. وتعزى الفروق التى بينها إلى الظروف التى تكونا تحتها. إذ من المعتقد أن الماس يتكون عند أعماق تصل إلى 200 كيلومتر حيث ينتج عن الضغط الشديد بنية مكثزة، كما يظهر فى شكل (2 - 7 أ). أما الجرافيت فهو يتكون من صفائح من ذرات الكربون

الماس



الجرافيت



شكل 2 - 7

مقارنة بين الهيكل البلورى فى كل من الماس والجرافيت.

البريق

البريق هو المظهر أو نوعية الضوء المنعكس من سطح المعدن. فيقال للمعادن التي لها مظهر فلزيّ، بغض النظر عن لونها، أن لها بريقاً فلزياً. أما المعادن التي ليس لها بريق فلزيّ فتوصف بعدة صفات، من بينها الزجاجي واللؤلؤي والحريري والزيببي والترابي. ولبعض المعادن مظهر قريب من البريق الفلزيّ وهذا تسمى شبه فلزية.

اللون

رغم أن اللون هو أكثر الصفات وضوحاً في المعدن، إلا أنه أقل الصفات أهمية من حيث الاعتماد عليه في تشخيص المعدن. فقليل جداً من الشوائب في معدن المرو (الكوارتز) مثلاً يمنحه عدة ألوان، منها الوردى والأرجوانى

بلّورات، والسبب في هذا الاعتقاد الخاطيء هو أن معظم البلّورات لا تظهر شكلها البلّوري. فالشكل البلّوري هو التعبير الخارجى للمعدن الذى يعكس الترتيب الداخلى المنتظم لذراته. ويوضح شكل (2 - 8 أ)، خصائص الشكل البلّوري لمعدن الباريت الذى يحتوى على الحديد. وفي جميع الحالات التى تسمح للمعدن بالتبلّر دون ازدحام، تتكوّن بلّورات منفردة. وتتملك بعض البلّورات مثل بلّورات المرو (الكوارتز) أشكالاً بلّورية متميزة تساعد على التعرف عليها (أنظر شكل 2 - 8 ب)، ولكن في معظم الأوقات يتوقف النمو البلّوري بسبب التنافس على شغل الفراغ الذى يؤدى الى تداخل في نمو الكتل البلّورية مما يؤدى الى عدم ظهور شكلها البلّوري.



ب

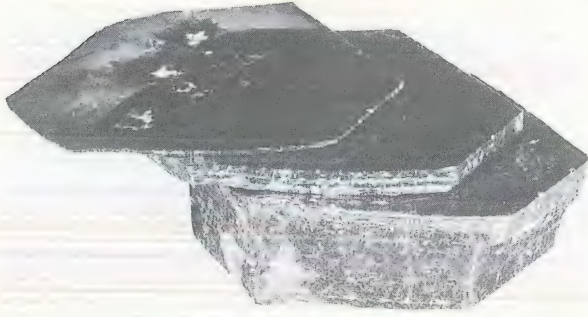


أ

شكل 2 - 8

الشكل البلّوري هو المظهر الخارجى للهيكل الداخلى المنتظم للمعدن. (أ) - بلّورات لمعدن الباريت. (ب)

- بلورة لمعدن الكوارتز.



شكل 2 - 9

انقسام من النوع الصفائحى الشائع في معدن المايكا.

ويمكن مقارنة أى معدن مجهول الصلابة بهذه المعادن أو بأشياء أخرى معروفة الصلابة. وتقدر صلابة ظفر الانسان بحوالى 2.5 وصلابة قطعة النقود النحاسية بحوالى 3 وصلابة قطعة من الزجاج بحوالى 5.5. فالجيس الذى تقدر صلابته بحوالى 2 يمكن خدشه بواسطة الظفر بسهولة، بينما معدن الكلسيت الذى صلابته 3 سوف يخدش الظفر ولكنه غير قادر على خدش الزجاج. وأما الكوارتز وهو أكثر المعادن الشائعة صلابة فانه يخدش الزجاج بسهولة.

الانقسام

هو قابلية المعدن للتشقق على امتداد مستويات ضعيفة الترابط ويمكن التعرف على المعادن التى لها انقسام عن طريق السطوح الملساء التى تنتج عند كسر هذه المعادن. ومن أبسط أنواع الانقسام هو انقسام معدن المايكا (شكل 2 - 9). وبما أن للمايكا انقسام جيد فى اتجاه واحد، فهى تنكسر مكونة رقائق دقيقة مستوية. ولبعض المعادن عدة مستويات انقسام تحدث أسطح ملساء عند تكسرها، بينما يوجد لبعضها انقسام ردى قد ينعدم الانقسام فى بعضها الآخر. وعندما تنكسر المعادن بانتظام فى أكثر من اتجاه، يمكن وصف الانقسام بعدد المستويات التى يشكلها والزوايا التى تتقابل فيها هذه المستويات. (شكل 2 - 10).

(الأمائيست) والأبيض وحتى الأسود. وعندما يكتسب معدن ما، مثل الكوارتز، ألوانا متنوعة يقال أن لهذا المعدن تلوّن غريب. ومعادن أخرى مثل الكبريت ذو اللون الأصفر والمالاكيت ذو اللون الأخضر الساطع، يقال أن لها ألوانا متأصلة.

المخدش (العرق)

المخدش هو لون المعدن عندما يكون على شكل مسحوق. ويمكن الحصول عليه عن طريق حك المعدن فوق طبق من الخزف غير المصقول. وقد يتفاوت لون المعدن من عينة إلى أخرى، ولكن يبقى لون المخدش ثابتا لا يتغير. ولهذا فهو خاصية يمكن الاعتماد عليها. ويساعد المخدش فى التفريق بين المعادن ذات البريق الفلزيّ والمعادن اللافلزية، حيث أن للمعادن الفلزية عادة مخدش داكن كثيف بينما تفتقر إلى ذلك المعادن اللافلزية.

الصلابة

من أهم الخصائص المميزة هى الصلابة وهى مقاومة المعدن للمخدش أو البرى. وهى خاصية نسبية يمكن تحديدها عن طريق خدش معدن مجهول الصلابة بمعدن آخر معلوم أو العكس. ويمكن الحصول على قيمة عددية بواسطة استعمال سلم (موه) للصلابة والذى يتكون من عشرة معادن مرتبة من درجة صلابة 1 (أقلها صلابة) إلى درجة صلابة 10 (أكثرها صلابة) وهى تتدرج كما يلي:

الصلابة	المعدن
1	التلك
2	الجيس
3	الكالسييت
4	أفلوريت
5	الأباتيت
6	الأرتوكليز الفلزيّ
7	الكوارتز
8	التوباز
9	الكوراندم
10	الماس

ويجب عدم الخلط بين الانفصام والشكل البلّوري، فعندما يكون للمعدن انفصام فانه ينكسر على هيئة قطع لها نفس الهياكل التي للقطعة الأصلية. وعلى العكس من ذلك، فان بلّورات الكوارتز التي ترى في الصورة، في بداية هذا الفصل، ليس لها انفصام وهذا فهي اذا انكسرت فانها تنقسم الى أشكال غير متشابهة ولا تشبه البلّورة الأصلية.

المكسر

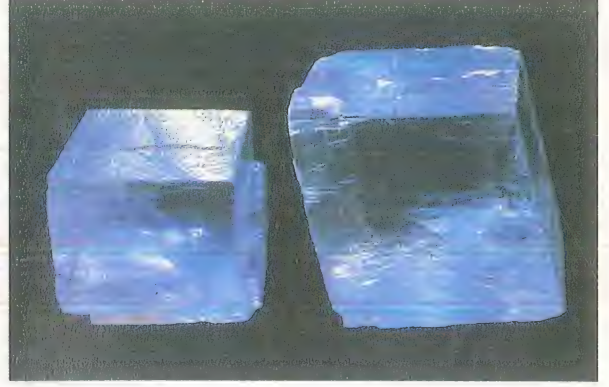
من المعادن مثل الكوارتز الذي وصف آنفا ما ليس له انفصام، ويقال أنه يتكسر عند تحطمه. ونوع الانكسار الذي يحدث أسطحاً ملساء منحنية مثل انكسار الزجاج، يسمى بالمكسر المحاري (شكل 2 - 11). أما الأنواع الأخرى فتحدث شظيات أو فتائل ولكن معظم المعادن تتكسر في غير إنتظام.

الكثافة النوعية

الكثافة النوعية، هي عبارة عن عدد يمثل نسبة وزن المعدن الى وزن حجم مساو له من الماء. فمثلا اذا كان وزن أى معدن يساوى ثلاثة اضعاف وزن حجم مساو له من الماء، فان كثافته النوعية تساوى 3. وبقليل من التمرين تستطيع تقدير ثقل المعادن بتسس وزنها باليد. فمثلا اذا كان ثقل معدن مثل ثقل الصخور والتي سبق لك تداولها، فنقله النوعي سيقع بين 2.5 الى 3. وتبلغ الكثافة النوعية لبعض العناصر الفلزية ضعف أو ثلاثة أضعاف المتوسط فالجالينا التي هي خام الرصاص مثلا لها ثقل نوعي يبلغ حوالى 7.5 بينما يبلغ الثقل النوعي للذهب الخالص حوالى 20.

المجموعات المعدنية

من المعروف أن هناك أكثر من 2000 معدن، ولحسن حظ الدارسين لها فان المعادن الشائعة لا تزيد عن العشرين. وهذه مجتمعة تكوّن معظم القشرة الأرضية وتصنف على أنها المعادن المكونة للصخور. ومن المهم أيضا الإشارة الى أن



شكل 2 - 10

أسطح ملساء تنتج عن كسر المعادن ذات الانفصام، وتوضح هذه العينات ثلاثة أسطح للانفصام (سنة وجوه). الى اليسار معدن تتقابل أسطح انفصامه بزاوية قائمة، وإلى اليمين معدن تتقابل أسطح انفصامه بزاوية 75 درجة.



شكل 2 - 11

تكسر محاري. تنشأ الأسطح المنحنية الملساء عندما يتكسر المعدن مثل انكسار الزجاج.

الذهب والفضة والكربون (الماس) وعدد كبير آخر، مثل الفلوريت، والكوراندم، واليوارانيتيت. لاحظ أن للمعادن المكونة للصخور فوائد اقتصادية كذلك. فيستعمل مثلاً معدن الكوارتز في إنتاج الزجاج ويشكل الكالسيت المكون الرئيس للتراب (نوع بورتلاند). ويتكون الجص من معدن الجبس.

البنية البلورية للسليكات

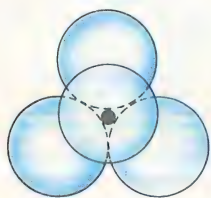
تحتوي جميع معادن السليكات على نفس البنية الأساسية، رباعي الأسطح للسليكون والأكسجين. وبنية السليكات هذه تتكون من أربعة ذرات أكسجين تحيط بذرة سيليكون أقل حجماً وتقع في الفراغ بين ذرات الأكسجين (شكل 2 - 12). ولا يعتبر رباعي الأسطح للسليكون والأكسجين مركباً مستقراً بأي حال، ولكنه أيون معقد ذو شحنة تبلغ - 4، وتنتج هذه الشحنة لأن كل ذرة أكسجين تساهم بشحنة تبلغ - 2، بينما تبلغ شحنة ذرة السليكون 4^{+} . وفي الطبيعة، أحد أبسط الطرق لتعادل رباعيات الأسطح هذه، هي إضافة أيونات موجبة الشحنة. وبهذه الطريقة تنتج هياكل بلورية متعادلة كيميائياً، مشتملة على رباعيات الأسطح متحدة مع أيونات موجبة، فان رباعيات الأسطح نفسها يمكن أن تكون عدة هياكل بلورية. فمثلاً تتحد رباعيات الأسطح لتكون عقوداً منفردة، أو عقوداً

معظم هذه المعادن تتركب من 8 عناصر وتشكل ما يزيد عن 98% (من حيث الوزن) من القشرة القارية (الجدول 2 - 2). والعنصران الأكثر تواجداً هما الأكسجين والسليكون اللذان يتحدان ليكونا مجموعة المعادن الأكثر شيوعاً والتي تعرف بمجموعة السليكات. فكل معدن سليكات يحتوي على الأكسجين والسليكون وكلها، ما عدا الكوارتز، تحتوي على عنصر أو أكثر من العناصر الإضافية لتصل إلى التعادل الكهربائي. وربما يأتي في المرتبة الثانية، من حيث الوفرة، مجموعة الكربونات والتي يعتبر معدن الكالسيت من أهمها. هذا وتشمل المعادن الأخرى المكونة للصخور معدني الجبس والهاليت (ملح الطعام).

والى جانب المعادن المكونة للصخور، هناك عدد من المعادن ذات قيمة اقتصادية وتشمل هذه المجموعة خامات الفلزات مثل الهيماتيت (خام الحديد)، والسفاليريت (خام الفخارصين)، والجالينا (خام الرصاص). والعناصر المنفردة مثل

جدول 2 - 2 الوفرة النسبية للعناصر الأساسية في القشرة القارية.

العنصر	النسبة المئوية التقريبية للوزن
الأكسجين (أ) (O)	46.6
السليكون (س) (Si)	27.7
الألومنيوم (لو) (Al)	8.1
الحديد (ح) (Fe)	5.0
الكالسيوم (كا) (Ca)	3.6
الصوديوم (ص) (Na)	2.8
البوتاسيوم (بو) (K)	2.6
الماغنسيوم (ما) (Mg)	2.1
بقية العناصر	1.5
الإجمالي	100



أ



ب

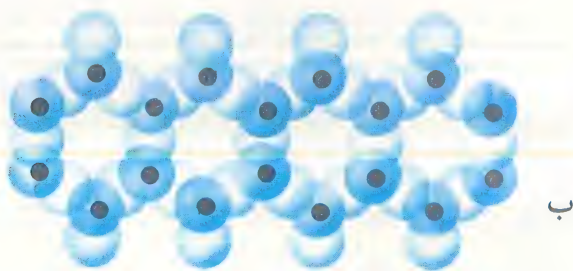
شكل 2 - 12

منظر علوي لرباعي الأسطح للسليكون والأكسجين. (أ) - تمثل الكرات الكبيرة ذرات الأكسجين، أما الكرة الغامقة فتمثل ذرة السليكون. (ب) - رسم توضيحي لرباعي الأسطح باستعمال أربع نقاط لتمثيل ذرات الأكسجين.

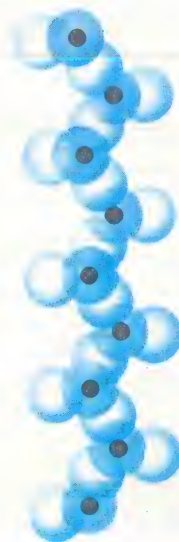
الأكسجين المشتركة هو الذى يكون من رباعيات الأسطح هيكل عقد منفرد. الآن، افحص ذرة سليكون، قرب وسط الهيكل الصفائحي. احص عدد ذرات الأكسجين المشتركة وغير المشتركة التى تحيط بها. فزيادة درجة الاشتراك هى المسئولة عن وجود الهيكل الصفائحي. هذا كما توجد هياكل لسليكات أخرى لم توضح فى الشكل. وأكثر هذه الهياكل وفرة هى التى تكون فيها جميع ذرات الأكسجين مشتركة بحيث ينتج عن ذلك هيكل معقد ذو ثلاثة أبعاد.

ويبدو واضحا منذ الآن أن نسبة ذرات الأكسجين الى ذرات السليكون تختلف فى كل بنية من بنىات السليكات. فمثلا توجد فى كل هيكل رباعى الأسطح أربعة ذرات أكسجين لكل ذرة سليكون. وفى العقد المنفرد، تكون نسبة

مزدوجة أو صفائحا، كما ترى فى الشكل 2 - 13. وينتج عن اتحاد رباعيات الأسطح فى كل هذه الهياكل، اشتراك كل زوج من ذرات السليكون فى ذرات الأكسجين. ولكى تفهم كيف تتم عملية الاشتراك هذه، اختر إحدى ذرات السليكون. ففي رباعيات الأسطح المنعزلة توجد أربعة ذرات أكسجين لكل ذرة سليكون، (الكلمات الصغيرة) قرب وسط العقد المنفرد الذى يرى فى الشكل 2 - 13. لاحظ أن ذرة السليكون هذه تحيط بها من كل جانب أربعة ذرات أكسجين أكبر منها حجما. ولاحظ أيضا أن اثنين من ذرات الأكسجين الأربع هى متصلة باثنين من ذرات السليكون الأخرى. بينما بقيت ذرتى الأكسجين الأخرين غير مشتركتين مع ذرات سليكون أخرى. فالاتصال عبر ذرات



ب




أ



ج

شكل 2 - 13

ثلاثة أنواع لهياكل السليكات. (أ) - عقد منفرد. (ب) - عقد مزدوج. (ج) - هيكل صفائحي.

 <p>O^{2-} 1.40</p>	<p>Si^{4+} 0.39 س⁴⁺</p> <p>Fe^{3+} 0.64 ح³⁺</p> <p>Na^{1+} 0.97 ص¹⁺</p>	<p>Al^{3+} 0.51 لو³⁺</p> <p>Mg^{2+} 0.66 ما²⁺</p> <p>Ca^{2+} 0.99 كا²⁺</p> <p>Fe^{2+} 0.74 ح²⁺</p> <p>K^{1+} 1.33 بو¹⁺</p>
--	---	--

شكل 2 - 14

الحجم النسبي والشحنات الكهربائية للأيونات الشائعة في المعادن المكونة للصخور وفيه نصف القطر الأيوني معبرا عنه بالأنجستروم (حيث واحد أنجستروم يساوى 10⁻⁸ سنتيمتراً).

ما²⁺ هما متقاربان في الحجم الأيوني ولذلك يحل كل منهما محل الآخر دون أى تعديل في هيكل المعدن. وهذا يسرى على الكالسيوم والصوديوم الذين يمكن أن يشغلا نفس المكان في الهيكل البلورى. كما يسرى أيضا على الألومنيوم الذى يحل محل السليكون في رباعى الأسطح للسليكون والأكسجين.

ونظرا لقدرة الهياكل البلورية على استيعاب أيونات مختلفة في أى موقع من مواقع الترابط فان عينات أى معدن قد تحتوى على كميات مختلفة من عناصر معينة. وعادة ما يتم التعبير عن معدن من هذا النوع باستعمال صيغة كيميائية تحتوى على أقواس لفصل المكونات المتنوعة. ومن أحسن الأمثلة معدن الأوليفين (ح، ما) س أ⁴. كما نرى في هذه الصيغة، فان أيون الحديد (ح²⁺) والمغنيسيوم (ما²⁺) في معدن الأوليفين هما اللذان يجلان محل بعضهما بحرية. وعند أحد الطرفين يمكن أن يحتوى الأوليفين على الحديد بدون احتوائه على أى مغنيسيوم (ح²⁺ س أ⁴). وعند الطرف الآخر، لا يحتوى الأوليفين إطلاقا على الحديد (ما²⁺ س أ⁴). وبين هذين الطرفين يحتمل وجود أى نسبة بين الحديد والمغنيسيوم. ولهذا فانه يمكن اعتبار الأوليفين،

الأكسجين الى السليكون 3 : 1 أما في البنية المجسمة فالنسبة تساوى 2 : 1. وبناء على ذلك فانه كلما زاد عدد ذرات الأكسجين المشاركة في البنية كلما قلّ عدد ذرات السليكون فيها. ولهذا فانه يمكن تصنيف معادن السليكات بمدى ما تحتويه من سليكا وهذا يعتمد على نسبة الأكسجين الى السليكون. وهذا التفاوت في محتوى السليكون يعد مهما جدا كما سنرى فيما بعد عند الحديث عن تكوّن الصخور النارية.

وتعتبر هياكل السليكات هذه مركبات غير مستقرة باستثناء السليكات ذات الهياكل المجسمة. ولهذا فهى تحتاج الى اضافة أيونات فلزية موجبة الشحنة لتصل الى درجة التعادل الكيميائى، شأنها في ذلك شأن ربايعات الأسطح المنفردة وذلك لترتبط بينها مكونة عدة هياكل بلورية. والأيونات التى عادة ما تربط البنى البلورية للسليكات هى ايونات كل من عناصر الحديد (ح)، والمغنيسيوم (ما)، والبوتاسيوم (بو)، والصوديوم (ص) والألومنيوم (لو) والكالسيوم (كا). لاحظ في شكل (2 - 14) أن كلا من هذه الأيونات الموجبة لها حجم ذرى معين وتحمل شحنة معينة. فالأيونات المتقاربة في الحجم عادة ما تحل محل بعضها بحرية. فمثلا أيون الحديد ح²⁺ وأيون المغنيسيوم

المعدن	المعادلة النموذجية	الانقسام	البنية البلورية للسليكات
الأوليفين	(ما، ح) $2\text{س} 4\text{أ}$	لا يوجد	رباعي أسطح منفرد 
البيروكسين	(ما، ح) $3\text{س} 3\text{أ}$	سطحين متعامدين	سلاسل منفردة 
الأمفيبول	(كا، ما) $2\text{س} 8\text{أ} 22\text{أ} 2\text{أ} 2\text{أ}$	سطحان يتقابلان عند 60° و 120°	سلاسل مزدوجة 
مايكا	مسكوفيت	سطح واحد	ورقات (صفائح) 
	بايونيت		
الفلسبار	أورثوكليز	سطحين يتقابلان بزاوية 90°	تشابك مجسم 
	بلاجيوكليز	لا يوجد	
المرو	2س	لا يوجد	

شكل 2 - 15

معادن السليكات الشائعة. لاحظ أن هيكل السليكات يزداد تعقيدا الى اسفل الجدول.

المجموعات وفرة بحيث تمثل أكثر من 50 في المئة من القشرة الأرضية. فمعادن الكوارتز الذي يحتل المرتبة الثانية من حيث الوفرة، هو المعدن الوحيد المركب كليا من عنصرى السليكون والأكسجين.

وبالنظر لشكل 2 - 15 تلاحظ أن لكل مجموعة سليكات هيكل معين. وهناك علاقة بين الهيكل الداخلى لكل معدن وبين الانقسام الذى يظهره. وبما ان الترابط بين السليكون والأكسجين قوى جدا فان معادن السليكات تنقسم (تتكسر) بين هياكل السليكون والأكسجين بدلا من انفصامها عبرها. فمثلا يوجد لمجموعة المايكا هيكل صفائحي مما يحملها على الانقسام فى شكل أطباق مسطحة (شكل 2 - 9). ومعادن الكوارتز الذى له روابط قوية بين الأكسجين والسليكون فى جميع الاتجاهات، هو خال من الانقسام. وتتكون معظم معادن السليكات عندما تبرد الصخور المنصهرة. ويحدث هذا التبريد عند أو قرب سطح الأرض أو على أعماق كبيرة تحت ضغط ودرجة حرارة مرتفعين

وعدة معادن سيليكات، على أنها تمثل عائلة من المعادن لها مدى تركيبى بين طرفين ثابتين.

وفى بعض حالات الاحلال، لا تملك الأيونات المتبادلة نفس العدد من الشحنات الكهربائية. فمثلا عندما يحل الكالسيوم ($2+$) محل الصوديوم، فان الهيكل يكتسب شحنة موجبة. وفى الطبيعة تتم عملية التبادل باحدى الطرق التى تحافظ فى نفس الوقت على التعادل الكهربائى وهى الاحلال المتزامن لأيونات الألومنيوم ($3+$) محل أيونات السليكون ($4+$). ويتم هذا التبادل المزدوج خاصة فى مجموعة الفلسبار التى تعتبر أكثر عائلات المعادن وفرة فى القشرة الأرضية. والطرفين الثابتين لمجموعة معادن الفلسبار هما معدن الأنورثيت كالوس $2\text{س} 2\text{أ} 8\text{أ}$ ، ومعادن الألبيت، ص لوس $3\text{أ} 8\text{أ}$.

معادن السليكات:

يوضح شكل 2 - 15، المجموعات الرئيسية لمعادن السليكات وأمثلة لكل منها. وتعتبر مجموعة الفلسبار أكثر هذه

بهذه الطريقة لا تكون ترابطاتها صفا واحدا فان الأوليفين عديم الانفصام.

البيروكسين: يوصف البيروكسين على أنه معدن سليكات أسود معتم وله انفصام في اتجاهين يتقابلان بزوايا تبلغ حوالى 90°. أما بنية البيروكسين فتتكون من عقود منفردة من رباعيات الأسطح مترابطة مع بعضها بأيونات من الحديد والمغنيسيوم. وللبيروكسين انفصام مواز لاتجاه العقد حيث أن روابط السليكون مع الأكسجين هي أقوى من الروابط التى تصل بين عقود السليكات. والبيروكسين هو أحد المعادن السائدة في البازلت، الذى هو صخر شائع في القشرة المحيطية كما انه موجود أيضا في المناطق البركانية فوق القارات.

الهرنبلند: الهرنبلند هو أكثر المعادن انتشارا في مجموعة المعادن معقدة التركيب الكيميائى وهى المسماة بالامفيبولات. وللامفيبول عادة لون أخضر غامق الى أسود؛ وهو يشبه البيروكسين في جميع الصفات ما عدا زوايا أوجه الانفصام، فهى تقارب 60° و 120°، (شكل 2 - 16). وازدواج عقود رباعى الأسطح في الهرنبلند هو المسئول عن نوع الانفصام الذى يخصصه. وفي الصخور يكون الهرنبلند بلورات طويلة. وهذا يساعد على تمييزه من البيروكسين الذى تكون بلوراته أبعادا شبه متساوية.

البايوتيت: هو أحد معادن المايكا غامقة اللون الغنية بالحديد. ومثل معادن المايكا الأخرى فهو يمتلك هيكلا صفائحيا يعطيه انفصاما ممتازا في اتجاه واحد. وللبايوتيت أيضا مظهر أسود لامع يساعد على تمييزه من بين معادن الحديد والمغنيسيوم الأخرى. والبايوتيت هو مثل الهرنبلند في تواجده كمكون شائع للصخور القارية بما في ذلك صخور الجرانيت.

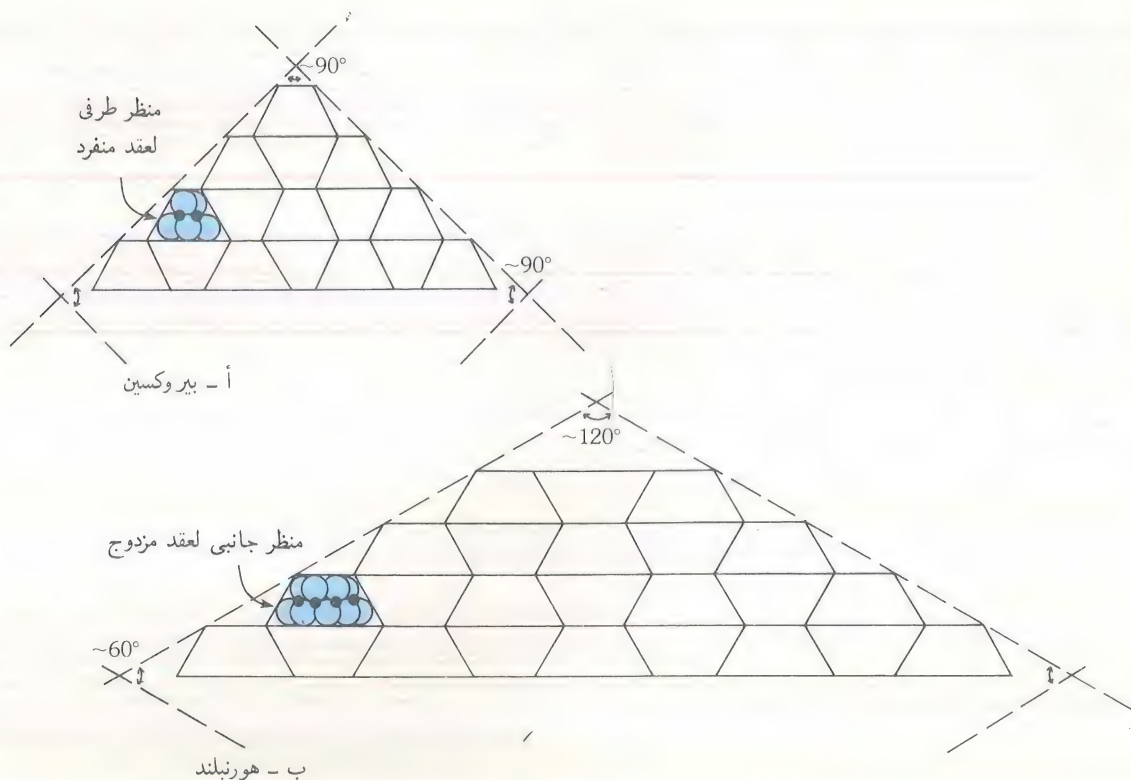
الجارنيت: يشبه الجارنيت معدن الأوليفين في بنيته البلورية التى تتألف من رباعيات الأوجه المنفردة وفي بريقه الزجاجى وانعدام الانفصام فيه وطبيعة مكسره المحارى. وعادة ما تتنوع ألوان الجارنيت الا ان أكثرها شيوعا هو

جدا. والعاملان اللذان يقرران الى حد كبير نوع المعدن الناتج هما بيئة التبلر والتركيب الكيماوى للصخور المنصهرة. فمثلا يتبلر معدن السليكات المسمى بالأوليفين في درجة حرارة عالية ويكون له بنية كيميائية مستقرة في درجة حرارة مرتفعة. أما الكوارتز، فهو على العكس من ذلك، حيث يتبلر في درجة حرارة أقل بكثير. وتكون بعض معادن السليكات مستقرة في الظروف السائدة عند سطح الأرض وهى تتكون من نواتج التجوية لمعادن سليكات سابقة الوجود. وهناك معادن سليكات أخرى تتكون تحت أقصى الضغوط التى تصاحب عمليات التحول. ولهذا فان لكل معدن من معادن السليكات بنية بلورية وتركيب كيميائى تعكس الظروف التى نشأ فيها.

ويمكن تقسيم معادن السليكات المختلفة الى مجموعتين على أساس محتواها الكيميائى. فسليكات الحديد والمغنيسيوم هى التى تحتوى على أيونات الحديد والمغنيسيوم في بنيتها. أما المعادن التى لا تحتوى على هذه الأيونات فتسمى السليكات الخالية من الحديد والمغنيسيوم. وعادة ما يكون لون سليكات الحديد والمغنيسيوم غامقا ويتراوح ثقلها النوعى بين 3.2 و 3.6. وبالمقارنة فان السليكات الخالية من الحديد والمغنيسيوم تكون عادة فاتحة اللون ويبلغ متوسط ثقلها النوعى 2.7 وتعزى هذه الفروق رئيسا الى محتواها من الحديد.

سليكات الحديد والمغنيسيوم:

الأوليفين: يوصف على أنه معدن سليكات يتكون أثناء حرارة مرتفعة وله لون أسود الى أخضر زيتونى، وله بريق زجاجى ومكسر محارى. وبدلا من أن يكون الأوليفين بلورات كبيرة فان بلوراته صغيرة حببية المظهر. ويتألف الأوليفين أساسا من رباعيات الأسطح المنفردة والمترابطة مع بعضها البعض بواسطة خليط من أيونات الحديد والمغنيسيوم بحيث أنها تربط بين ذرات الأكسجين. وبما أن البنية المجسمة المتكونة



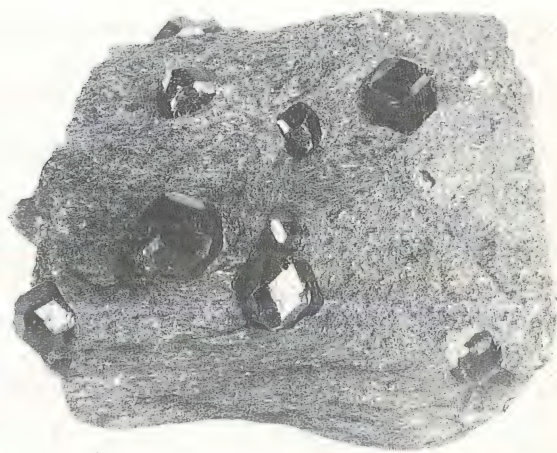
شكل 2 - 16

زوايا الانقسام في البيروكسين والهورنبلند (أمفيبول).

اللون البنّي إلى الأحمر القاني. وللجارنيت بلّورات متساوية الأبعاد، وهي التي تتواجد عادة في الصخور المتحولة (شكل 2 - 17). وفي الحالات التي يتكون فيها الجارنيت على هيئة بلّورات شفافة، يمكن اقتناؤه كأحجار كريمة.

سليكات غير الحديد والماغنيسيوم

الموسكوفيت: هو أحد معادن المايكا الشائعة، وهو ذو لون شفاف وبريق لؤلؤي. وللموسكوفيت انفصام جيد في اتجاه واحد مثل معادن المايكا الأخرى. وتبدو الألواح الرقيقة من الموسكوفيت شفافة مما مكن من استعمالها كزجاج للنوافذ في القرون الوسطى. نظرا لما للموسكوفيت من لمعان فمن السهل جدا التعرف عليه في الصخور التي يحتويها، فلو



شكل 2 - 17

بلّورات معدن الجارنيت في صخر متحول.

الصوديوم والكالسيوم، فانه يوجد نوعان فقط من البنيات البلورية للفلسبار. فلسبار الأرثوكليز وهو أكثر مجموعة معادن الفلسبار انتشارا وهى تحتوى على البوتاسيوم فى هيكلها البلورى والمجموعة الأخرى تسمى فلسبار البلاجيوكليز التى تحتوى على أيونات الصوديوم والكالسيوم والتى تحل محل بعضها. بحرية حسب البيئة التى تبلّرت فيها.

ويتراوح لون فلسبار الأرثوكليز عادة بين لون القشقة الخفيف واللون القنفلى الفاتح. ومن جهة أخرى، يتراوح لون فلسبار البلاجيوكليز بين الأبيض والرمادى المتوسط ولكن يجب عدم الاعتماد على اللون فى التفريق بين معادن الفلسبار. والطريقة الوحيدة المضمونة للتفريق الظاهرى بين معادن الفلسبار هى البحث عن تجمع هائل من الخطوط الرفيعة المتوازية المسماة الحزات. وهى موجودة على بعض أسطح البلاجيوكليز ولكنها ليست موجودة فى الأرثوكليز (شكل 2 - 19).

الكوارتز: هو معدن السيليكات الوحيد الذى يحتوى على الأكسجين والسليكون فقط ولهذا فهو يسمى عادة بالسليكا التى لها الرمز الكيميائى SiO_2 . ففى معدن الكوارتز تتكون هيئة مجسمة متكاملة عن طريق المشاركة التامة لذرات

نظرت مرة الى رمال الشواطىء لاحظت أن لبعض حبيباتها لمعانا متلألاً يمكن تمييزها عن الحبيبات الأخرى.

الفلسبار: هو أكثر المجموعات المعدنية تواجدا ويتكون تحت ظروف مختلفة من الضغط ودرجة الحرارة، وهذا ما يفسر ظاهرة انتشاره. ولجميع معادن الفلسبار خصائص طبيعية متشابهة. للفلسبار انفصام فى اتجاهين يكونان زاوية تقارب 90° وجميع معادنه صلبة، اذ تصل صلابتها الى 6 على مقياس موهر، ولها بريق بين الزجاجى واللؤلؤى. ويمكن التعرف على بلّوراته كمعدن أساسى فى الصخور بواسطة شكلها المتعامد الأوجه وكذلك أسطحها الناعمة واللماعة (شكل 2 - 18).

ولمعادن الفلسبار بنية مجسمة تتكون من اشتراك ذرات السليكون المتجاورة مع ذرات الأوكسجين. وهذا بالإضافة الى أن ربع الى نصف ذرات السليكون يمكن أن تحل محلها ذرات الألومنيوم فى الفلسبار، والفرق الناتج عن الشحنة بين الألومنيوم $(3+)$ والسليكون $(4+)$ ، يمكن التعويض عنه بادخال واحد أو أكثر من الأيونات الآتية الى البنية المتشابهة للبلورة: البوتاسيوم $(1+)$ ، الصوديوم $(1+)$ ، والكالسيوم $(2+)$. ونظرا لكبر حجم أيون البوتاسيوم بالنسبة لحجم أيونى



شكل 2 - 19

تسمى هذه الخطوط المتوازية حزات، وهى علامات مميزة لفلسبار البلاجيوكليز



شكل 2 - 18

عينات من معدن الفلسبار

الشوائب تعطيه ألواناً مختلفة. وهو يشكل في هيئات تفتقد الى الأوجه البلورية المتكاملة. ومن أكثر أنواع الكوارتز تواجداً، النوع الحليسي (أبيض) والدخاني (رمادي) والوردي (قرنفلي) والأماثيست (أرجواني).

الطفلة : تدل هذه التسمية على معادن معقدة التركيب تشبه المايكا في بنيتها الصفائحية. ومعادن الطفلة عادة ما تكون دقيقة الحبيبات ولا يمكن دراستها الا مجهرياً. وتنشأ معظم معادن الطفلة نتيجة للتجوية الكيميائية لمعادن السليكات.

الأكسجين (أ²⁻) من قبل ذرات السليكون (س⁴⁺) المتجاورة، ولهذا فان جميع الروابط في معدن الكوارتز هي من نوع سليكون = أكسجين. القوية. ولهذا فمعدن الكوارتز يظهر صلابه خاصة لمقاومة التآكل وليس له انقسام. وعند كسره فانه يظهر مكسراً محارياً. وفي حالته النقية يكون الكوارتز شفافاً، وإذا ترك ليتبلر دون تدخل، فانه يشكل بلّورات سداسية ذات أطراف هرمية الشكل، (أنظر الصورة في افتتاحية هذا الفصل). وكغيره من المعادن الشفافة، فان

جدول 2 - 3 بعض مجموعات المعادن اللاسليكات الشائعة

المجموعة	المعدن	الرمز الكيميائي	الاستعمال الاقتصادي
الأكاسيد	هياتيت	ح 2 أ 3 Fe ₂ O ₃	خام للحديد
	ماغنيتيت	ح 3 أ 4 Fe ₃ O ₄	خام للحديد
	كوراندم	لو 2 أ 3 Al ₂ O ₃	يستعمل للصنفرة
الكبريتيدات	تلعج	يد 2 أ H ₂ O	الماء المتجمد
	جالينا	ركب PbS	خام للرصاص
	سفاليريت	ركب ZnS	خام للخارصين
العناصر المنفردة	بايريت	ح ك ب 2 FeS ₂	الذهب المستعار
	الكوبايريت	نح ح ك ب 2 CuFeS ₂	خاص للنحاس
	الأنهيدريت	كا ك ب 4 CaSO ₄	يستعمل في البناء
	الذهب	ذ Au	
	النحاس	نح Cu	
	الماس	ك C	
	الكبريت	كب S	
	الحجرافيت	ك C	
	هاليت	ص كل NaCl	ملح الطعام
	فلوريت	كا فل 2 CaF ₂	يستعمل في صناعة الصلب
الكربونات	كالسيت	كا ك أ 3 CaCO ₃	المواد الكيميائية والخزف
	دولوميت	كا ما (ك أ 3) Camg (CO ₃) ₂	ترابة بورتلاند
	مالاكييت	نح 2 (أ يد) 2 ك 3 Cu ₂ (OH) ₂ CO ₃	خام للنحاس

التفريق بينهما. فكلاهما له بريق زجاجي، وصلابته تتراوح بين 3 و 4، وله انقسام معيني شبه متكامل. غير أنه يمكن التفريق بينهما باستعمال حامض الهيدروكلوريك المخفف، إذ يتفاعل معدن الكلسيت بشدة مع هذا الحامض، بينما لا يتفاعل معدن الدولوميت معه، إلا إذا كان مسحوقا. ويتواجد كل من الكلسيت والدولوميت جنباً إلى جنب كمعدنين أساسيين في الصخور الرسوبية من نمط الحجر الجيري والدولوميت. فعندما يغلب تواجد معدن الكلسيت يسمى الصخر حجراً جირياً بينما يسمى الصخر حجراً دولوميتياً عندما يغلب معدن الدولوميت. وللحجر الجيري عدة استعمالات اقتصادية من بينها استعماله في رصف الطرق وفي البناء وكمادة أساسية في صناعة التربة.

وهناك معدنان آخران يكثر تواجدهما في الصخور الرسوبية، هما الهاليت والجبس، وكلاهما موجود في طبقات سمكية هي بقايا لبحار قديمة كانت قد تبخرت. فالهاليت هو الاسم المعدني للملح الطعام المعروف (ص كل) أما معدن الجبس (كا كب 4ه 2 يد 2 أ) فهو المادة التي يستمد منها مسحوق الجبس ومواد أخرى تستعمل في البناء.

الأخرى ولهذا فإن معادن الطفلة تحتل نسبة كبيرة من المكونات السطحية التي نسميها بالتربة. ونظراً لأهمية التربة في الزراعة وفي أساسات المباني فإن معادن الطفلة مهمة جداً بالنسبة للإنسان.

معادن الأسليكات

وبالرغم من أنه يمكن اعتبار المجموعات المعدنية الأخرى نادرة إذا ما قورنت بالأسليكات، فإن كثيراً منها يعتبر ذا أهمية من الناحية الاقتصادية. وبين الجدول رقم 2 - 3 بعض الأمثلة من الأكاسيد والكبريتيدات والكبريتات والهليدات والعناصر المنفردة التي لها قيمة اقتصادية. وفيما يلي مناقشة لبعض المعادن المكونة للصخور من غير الأسليكات.

مجموعة الكربونات هي أبسط من مجموعة الأسليكات في هيكلها البلوري وتتكون هذه المجموعة المعدنية من أيون الكربونات المركب (ك أ_3^{2-}) وواحد أو أكثر من الأيونات الموجبة. وأكثر معادن هذه المجموعة انتشاراً هما معدن الكلسيت (كاك أ_3)، ومعدن الدولوميت كما (ك أ_3)₂. ولتشابه هذين المعدنين طبيعياً وكيميائياً فإنه من الصعب

أسئلة

للمراجعة :

- 1 - اذكر تعريفاً مبسطاً للصخور.
- 2 - أذكر الأجزاء الثلاث المكونة للذرة وبين كيف يختلف كل منها عن الآخر.
- 3 - إذا كان عدد الإلكترونات في ذرة ما 35 ووزنها الذري 80 ، فاحسب الآتي :
 أ - عدد البروتونات.
 ب - العدد الذري.
 ج - عدد النيوترونات.
- 4 - ما هي قاعدة الثانية؟ وما أهمية الكثرونات التكافؤ؟
- 5 - فرق باختصار بين الترابط الأيوني والترابط التساهمي؟
- 6 - ماذا يحدث في الذرة لتصبح أيوناً؟

7 - ما هو النظر الذرى؟

8 - مع أن ذرات المعادن تكون هيكلًا داخليًا منتظمًا (البنية البلورية) إلا أن معظم المعادن لا تظهر على هيئة بلورية واضحة. لماذا؟

9 - لماذا يصعب التعرف على المعادن من لونها؟

10 - لو عثرت على معدن زجاجي المظهر أثناء رحلة لتجميع الصخور ولديك الأمل بأنه يحتمل أن يكون ماسًا. ما هو الاختبار البسيط الذى يساعدك على التعرف عليه؟

11 - اشرح استعمال الكوراندم كما يظهر فى الجدول (2-3) بالنسبة لسلم موهو للصلابة.

12 - الثقل النوعى للذهب يساوى حوالى 20 ، فإذا كان وعاء من الماء حجمه 25 لترا، ووزنه 25 كيلوجراما، فما هو وزن وعاء مملوء بالذهب يتسع لـ 25 لترا؟

13 - ما الفرق بين السليكون والسليكات؟

14 - ما هى الخصائص المشتركة لمعادن سليكات الحديد والمغنيسيوم؟ أذكر بعض الأمثلة لهذه المعادن؟

15 - فيم يشترك البايوتيت والموسكوفيت، وفيم يختلفان؟

16 - هل يمكن استعمال اللون للتفريق بين الأرتوكليز والبلاجيوكليز؟ ما هى أحسن طريقة للتفريق بين أنواع الفلسبار؟

17 - تصف كل من الجمل الآتية معدن سليكات أو مجموعة معادن، أذكر اسم المعدن المناسب فى كل حالة:

- أ - أكثر معادن الأمفيبول تواجدا.
- ب - المعدن الشائع من معادن المايكا من غير معادن الحديد والمغنيسيوم.
- ج - معدن السليكات الوحيد المحتوى كليا على السليكون والأكسجين.
- د - معدن سليكات يتكون فى درجة حرارة مرتفعة واسمه مستمد من لونه.
- هـ - المعدن الذى له حزات.
- و - معدن ينشأ عن التجوية الكيميائية.

18 - ما هو الاختبار البسيط للتفريق بين معدن الكالسيت ومعدن الدولوميت؟

الكلمات الدالة :

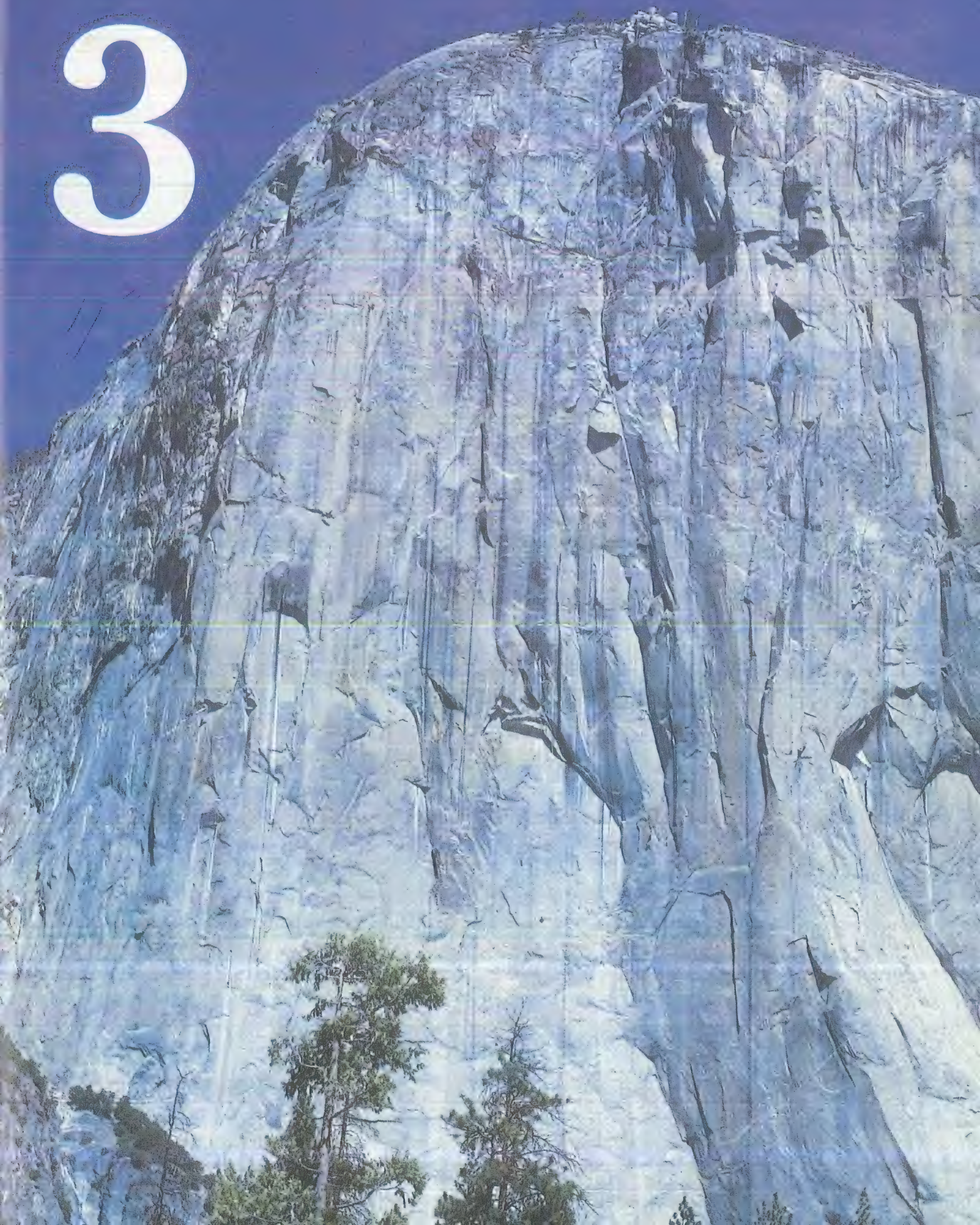
radioactivity	النشاط الاشعاعي	electron	الالكترونون
isotope	النظير	cleavage	الانقسام
nucleus	النواة	ion	الأيون
neutron	النيوترون	proton	البروتون
atomic number	العدد الذري	luster	البريق
element	العنصر	fracture	التصدع
octet rule	قاعدة الثمانية	covalent bond	الترابط التساهمي
atomic weight	الوزن الذري	metallic bond	الترابط الفلزّي
specific gravity	الوزن النوعي	ionic bond	الترابط الأيوني
valence electron	الالكترون التكافؤ	atom	الذرة
polymorphism	تعدد الأشكال البلورية	crysal form	الشكل البلوري
silicon-oxygen	رباعي الأسطح	rock	الصخور
tetraheron	للسليكون والأكسجين	hardness	الصلابة
Mohs scale	سلم موهو	color	اللون
energy-level shell	مسارات مستويات	streak	المخدش
energy	الطاقة	compound	المركب
silicate minerals	معادن السليكات	mineral	المعدن
mass number	عدد الكتلة		
atomic mass unit	وحدة الكتلة الذرية		

3



الصخور النَّارية

3



الذى لا يتمكن من الوصول الى السطح، فانه حتماً سيتبلّر في الأعماق. وتصنف الصخور النارية الناتجة بهذه الطريقة تحت اسم الصخور المقتحمة أو البلوتونية، بمعنى جوفية. ولربما كان من المستحيل معاينة هذه الصخور على سطح الأرض اذا لم تعمل عوامل التعرية على ازالة الصخور التي فوقها.

تبلّر الصهير

بما أن الصهير هو سائل ساخن، فان أيونات تتحرك بحرية ويمكن أن يقال بأنها غير منتظمة. وعندما تبرد هذه الأيونات فان حركتها العشوائية تتباطأ وتبدأ في ترتيب نفسها في أشكال منتظمة. وتسمى هذه العملية بالتبلّر. وقبل أن نتعرض لعملية التبلّر بتفصيل أكثر، دعنا نتفحص أولاً كيف ينصهر جسم بلورى بسيط اذ تترتب الأيونات في الجسم البلورى على هيئة منظمة متراصة ولكنها لا تخلو من الحركة. فهى تظهر تذبذباً محدوداً حول نقطة ثابتة. وعندما ترتفع درجة الحرارة تزداد سرعة تذبذب الأيونات، وفي النهاية تصطدم ببعضها البعض بقوة متزايدة. ويحمل استمرار التسخين الأيونات على شغل حيز اضافي من الفراغ. وينتج عن ذلك تمدد الجسم الصلب ومن ثم زيادة المسافات بين أيوناته، وعند نقطة الانصهار تكون الأيونات متباعدة ومتذبذبة الى الحد الذى يجعلها تغلب على قوة الارتباط الكيميائى التى كانت تصل بينها. وفي هذه المرحلة تكون الأيونات قادرة على اجتياز بعضها البعض مدمرة البنية البلورية المنتظمة. وبذا يصبح الصلب سائلاً مكوناً من أيونات غير منتظمة تسبح عشوائياً.

أما في عملية التبلّر فيحدث بالتبريد عكس ما يحدث بالتسخين. فبينما يبرد السائل تقترب الأيونات من بعضها وتفقّد حرية الحركة. وعندما يصل التبريد حداً كافياً تحد قوة الترابط الكيميائى من حركة الذرات وتجبرها على الانتظام في بنية بلورية. ولا تتصلب عادة كل المواد المنصهرة في آن واحد بل تكون عدة مراكز بلورية. وبطريقة منتظمة تضاف أيونات جديدة الى مراكز النمو البلورى هذه. وعندما تكبر

تبلّر الصهير.

النسيج النارى.

التركيب المعدنى.

تسمية الصخور النارية:

- الصخور الجرانيتية

- الصخور الأنديسيتية

- الصخور البازلتية

- الصخور الفلذبركانية

تواجد الصخور النارية:

- طبيعة البلوتونات

- توضع الباثوليت

في سياق مناقشتنا لدورة الصخور، أشرنا الى أن الصخور النارية تنشأ عندما يبرد الصهير ويتبلّر. هذا الصخر المنصهر الذى ينشأ في أعماق تصل الى 200 كيلومتر بباطن الأرض يتكون أساساً من العناصر الموجودة في معادن السيليكات مع بعض الغازات التى من أهمها بخار الماء والذى يبقى داخل الصهير بفعل الضغط في الصخور التى تحتويه. فمحتوى الصهير الذى هو أخف من الصخور المحيطة به سرعان ما يصعد الى السطح وفي بعض الحالات يندفع فوق السطح مكوناً فورانات بركانية (شكل 3 - 1). فالانفجارات المدهشة التى تصحب اندلاع البراكين في بعض الأحيان تنتج عن الغازات (الطيارة) الهاربة من جراء انخفاض الضغط المكبوت قرب سطح الأرض. وفي بعض الأحيان، قد يسبب انسداد الفوهة أو تسرب المياه الى غرفة الصهير في انفجارات مريضة. فالى جانب فلذ الصخور المقذوفة، قد ينتج عن اندلاع البراكين طفوح منتشرة من اللابة. وتشبه اللابة الصهير، الا أن معظم غازاتها قد تسربت. وتصنف الصخور الناتجة عن تصلب الحمم تحت اسم الصخور النابطة أو الصخور البركانية. أما الصهير

صخور نارية متكشفة عند منتزه يوسيميتي.

الأيونات المتوفرة مما ينتج عنه تكون كتلة صلبة من البلورات المتناسكة الصغيرة جدا في حجمها. أما عندما تتجمد المادة المنصهرة في لحظات فان الوقت لا يتسع لترتيب الأيونات في هيئة بلورية. وتتكوّن الأجسام الصلبة الناجمة عن ذلك من أيونات موزعة عشوائيا. وتسمى الصخور غير المنتظمة الذرات بالزجاج وهى تشبه تماما الزجاج العادي الذي يصنعه الانسان.

فتبلّر الصهير، رغم كونه معقدا، يحدث بطريقة مشابهة للتي تم وصفها آنفا. فهو لا يتكون فقط من عنصر أو عنصرين مختلفين بل تتركب معظم أنواع الصهير من العناصر الثمانية التى تعتبر مكونات أساسية لمعادن

البلورات وتتقابل حوافها يتوقف نموها ويبدأ التبلّر في مواقع أخرى. وفي النهاية يتصلب كل الصهير الى كتلة من البلورات المتناسكة (شكل 3 - 2).

ويؤثر معدل التبريد بوضوح على عملية التبلّر وعلى الأخص، في حجم البلورات. وتتكون مراكز بلورية قليلة نسبيا عندما يبرد الصهير ببطء شديد. فالتبريد البطيء يعطى وقتا كافيا لوصول الأيونات الى هذه المراكز من مواقع بعيدة نسبيا. ولهذا فان التبريد البطيء ينتج عنه بلورات كبيرة نسبيا. ومن ناحية أخرى، فان الأيونات تفقد حركتها وتتصل ببعضها بسرعة عندما يبرد السائل بسرعة مما ينشأ عنه عدد كبير من مراكز التبلر التى تتنافس على اقتسام

شكل 3 - 1

بركان بارىكوتين بعد أشهر من ولادته.



٤

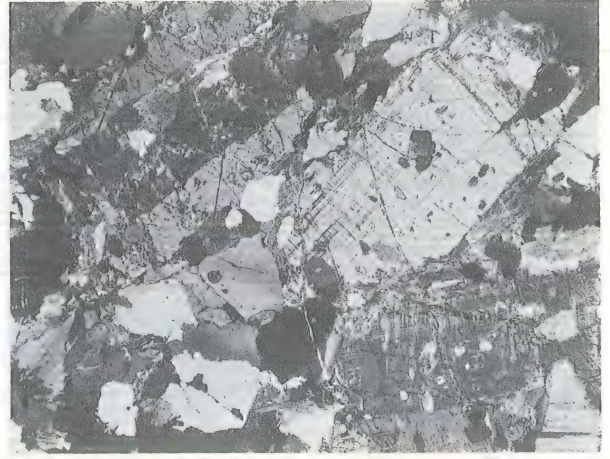
وبالإضافة الى معدل التبريد، يؤثر التركيب المعدني للصهير وكذلك المواد المتطايرة فيه على عملية التبلر. وحيث أن الصهير يتفاوت في كل من هذه المعطيات فإن المظهر الطبيعي والتركيب المعدني للصخور النارية يتنوع على نطاق واسع. ورغم ذلك بالامكان تصنيف الصخور النارية حسب الحالة التي نشأت عليها وحسب محتواها المعدني. ويمكن استنباط بيئة التبلر من حجم وترتيب الحبيبات المعدنية، وتسمى هذه الخاصية بالنسيج. ولهذا عادة ما تصنف الصخور النارية على أساس نسيجها وتركيبها المعدني. وسوف نعالج كلا من هاتين الصفتين في الأجزاء القادمة.

النسيج الناري

فكلمة نسيج تعني بالنسبة للصخور النارية وصف المظهر الكلي للصخر حسب حجم وترتيب بلوراته المتناسكة (شكل 3 - 3). ويعتبر النسيج خاصية مهمة جدا لأنه يوضح الكثير عن البيئة التي نشأ فيها الصخر. ويمكن للجيولوجيين عن طريق هذه الحقيقة أن يستقرأوا نشأة الصخور حتى أثناء الدراسة الحقلية حيث لا تتوفر الأجهزة المعقدة.

ومن أهم العوامل التي تؤثر في نسيج الصخور هي معدل برودة الصهير وقد فهمنا من خلال مناقشتنا للتبلر أن التبريد السريع ينتج بلورات صغيرة بينما ينتج التبريد البطيء بلورات أكبر حجما. ومن البديهي أن يكون معدل التبريد بطيئا حتما في غرف الصهير الواقعة في أعماق القشرة الأرضية، بينما تتصلب طبقة رقيقة من لابة نابطة في غضون ساعات فوق سطح الأرض. كما تتصلب القطع الصغيرة المقذوفة في الهواء في لحظات خلال الاندفاع الشديد للبراكين.

وللصخور النارية التي تتكون عند سطح الأرض أو على شكل كتل صغيرة في الجزء العلوي من القشرة عادة نسيج صغير الحبيبات يسمى النسيج الدقيق. وكتعريف

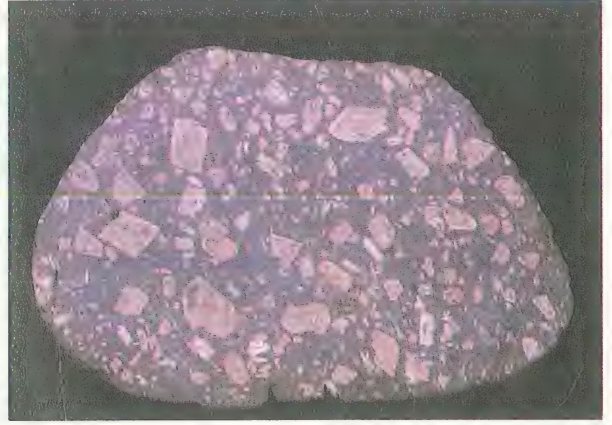
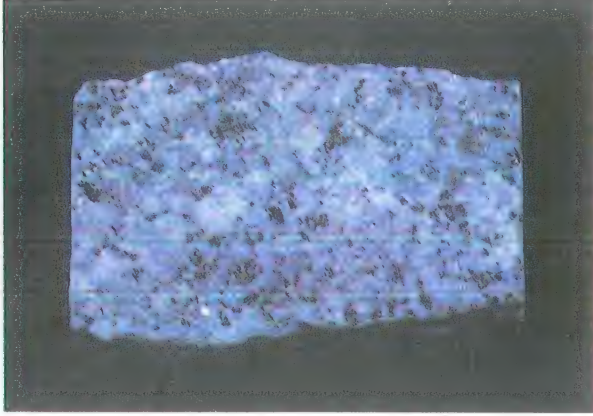


شكل 3 - 2

صورة دقيقة لبلورات متشابكة في صخور نارية خشنة الحبيبات.

السليكات. وتشمل هذه العناصر السليكون والأكسجين والألمنيوم والصوديوم والبوتاسيوم والكالسيوم والحديد والمغنيسيوم. وبالإضافة الى ذلك توجد في الصهير كميات ضئيلة من عناصر أخرى الى جانب مواد طيارة، منها على الأخص بخار الماء وثنائي أكسيد الكربون. فالمادة المتطايرة تتواجد عادة على الحالة الغازية في حالات الضغط والحرارة السائدتين على سطح الأرض.

وعندما يبرد الصهير يتحد السليكون مع الأكسجين ليكون رباعي الأسطح للسليكون والأكسجين. وعندما يستمر التبريد تتحد رباعيات الأسطح هذه مع أيونات أخرى لتكون نوى لعدة معادن من السليكات. وتنمو كل نواة بلورية باضافة الأيونات الى نواة البنية البلورية واحدة بعد الأخرى في شكل منتظم. ولكن المعادن المتبلرة من الصهير لا تنشأ عادة في آن واحد ولا تحت ظروف واحدة. وكما سنرى أن بعض المعادن تتبلر في درجات حرارة أعلى من تلك التي تتبلر فيها معادن أخرى. ولهذا فإن الصهير عادة ما يتكون من بلورات صلبة محاطة بمواد منصهرة. ورغم ذلك فإن الصهير سيتحول فيما بعد الى جسم متبلر مكون من عدة حبيبات معدنية متناسكة.



شكل 3 - 3

نسيج الصخور النارية. (أ) - نسيج دقيق. (ب) - نسيج خشن. (ج) - نسيج متباين. (د) - نسيج زجاجي.

المتكونة من معادن سليكات غير الحديد والماغنسيوم فاتحة اللون بصورة رئيسة، وهكذا.

ومن المناظر المألوفة بعدد كبير من الصخور دقيقة الحبيبات أن بها فراغات ناشئة عن تسرب الغازات منها (شكل 3 - 4). وهذه الفتحات الكروية أو ذات الاستطالة تسمى حويصلات، وهي مقصورة على الجزء الخارجى من

عملى، فان للصخور ذات النسيج الدقيق حبيبات دقيقة جدا لا يمكن التعرف على المعادن المكونة لها بالعين المجردة (شكل 3 - 3 أ). ورغم أنه لا يمكن تحديد المعادن المكونة للصخور ذات النسيج الدقيق، إلا أنه يمكن تصنيفها الى صخور ذات لون فاتح أو متوسط أو غامق. وباستعمال هذه الطريقة للتصنيف نجد الصخور ذات اللون الفاتح هى تلك

على شظايا زجاجية على هيئة خيوط رقيقة بقيت ساخنة خلال تطايرها ثم تلتحم فيما بعد مع بعضها عند الاصطدام. والنوع الآخر من الصخور الفلذبركانية يتكون من قطع تصلبت قبل الالتحام ثم التصقت مع بعضها فيما بعد. وبما أن الصخور الفلذبركانية مكونة من قطع منفصلة، فإن خصائصها النسيجية العامة عادة ما تكون أقرب إلى الصخور الرسوبية منها إلى الصخور النارية.

التركيب المعدني

إنّ الذي يحدد التركيب المعدني للصخور النارية هو في النهاية التركيب الكيميائي للصهير الذي يتبلر منه. وإن مثل هذا التنوع في الصخور النارية لا بد أن يفسر منطقياً بافتراض وجود أنواع مختلفة من الصهير. ولكن الجيولوجيين اكتشفوا أن هناك مراحل مختلفة للاندفاع من نفس البركان وكل منها يأتي بلابة نابطة مختلفة نوعاً في تركيبها المعدني. وعلى الأخص إذا كانت تفصل بين الاندفاعين فترة زمنية طويلة. وقد حملتهم أدلة من هذا النوع على الاعتقاد بأن نوعاً واحداً من الصهير قد ينتج عنه صخور مختلفة في تركيبها المعدني.

وقد كانت هناك أبحاث سبّاقة تخص تبلّر الصهير قام بها ن. ل. بووين في الربع الأول من هذا القرن. وقد وجد بووين أنه عندما يبرد الصهير في المعمل فإن معادن معينة تتبلر أولاً. وتدرج انخفاض درجات الحرارة، تبدأ معادن أخرى في التبلر كما هو واضح في شكل 3 - 6. وتتابع عمليات التبلر بتغير تركيب الجزء المنصهر (الجزء السائل من الصهير باستثناء أى مواد صلبة) باستمرار. فمثلاً عندما يتصلب 50% من الصهير فإن الجزء المنصهر يكون قد فقد كل الحديد والماغنيسيوم والكالسيوم التي يحتويها تقريباً وتوجد هذه في المعادن التي تتبلر أولاً. ولكن في نفس الوقت يتم اغناؤها بالعناصر التي تحتويها المعادن ذات التبلر المتأخر وهي بالتجديد عناصر الصوديوم، والبوتاسيوم. هذا بالإضافة

بالبلورات الموروثة (بلوثة) بينما يسمى هلام البلورات الدقيقة بالكتلة الأساسية. ويسمى الصخر الذي يتصف بهذا النسيج بالصخر ذو النسيج المتباين.

وأثناء اندلاع البراكين، تقذف الصخور المنصهرة إلى الجو حيث تبرد بسرعة. وهذه الطريقة تكتسب الصخور المتكونة نسيجاً زجاجياً. وكما تمت الإشارة إليه، فإن الزجاج يتكون عندما لا تعطي الأيونات وقتاً كافياً لتتحد وتكون بنية بلورية مرتبة. فالنوع الشائع من الزجاج الطبيعي المسمى أوبسيديان يشبه في مظهره أى شظية زجاج غامقة من صنع الإنسان (شكل 3 - 3 د).

ورغم أن معدل التبريد يعتبر العامل الرئيسي الذي يحدد نسيج الصخور، إلا أن هناك عوامل أخرى قد تلعب دوراً هاماً أيضاً. وعلى الأخص المحتوى المعدني للصهير فهو قد يؤثر في النسيج الناتج. فمثلاً صهير البازلت السائل عادة ما ينتج عنه صخور دقيقة النسيج عندما يبرد بسرعة أثناء الجريان الرقيق للابة. وتحت نفس الظروف فإن صهير الجرانيت الذي هو كثيف نسبياً (يقام الجريان)، هو الذي يكون أقرب لانتاج صخور ذات نسيج زجاجي. ولهذا فإن معظم الطفوح اللابية المكونة من الزجاج البركاني هي في الحقيقة ذات محتوى معدني جرانيتي. ومع ذلك فالطفوح البركانية النابطة في مياه البحر قد يتصلب سطحها بسرعة مكوناً غطاء زجاجياً. وعلاوة على ذلك فإن قطع الرماد الصغيرة ذات التركيب البازلتى عادة ما تبرد بسرعة كافية لينتج عنها نسيج زجاجي.

وتتكون بعض الصخور النارية من تصلب الفلدز الصخرية التي تقذف أثناء الفوران العنيف للبراكين، وقد ينتج عن هذه القطع المقذوفة رمال دقيقة أو كتل منصهرة أو قطع كبيرة مزواة منسلخة من جدران الفوهة أثناء الفوران. وتوصف الصخور النارية المكونة من هذه القطع الصخرية بأن لها نسيجاً فلزدياً بدلاً من البلورات المتناسكة.

ومن أنواع الصخور الفلذبركانية الشائعة، صخر يحتوي

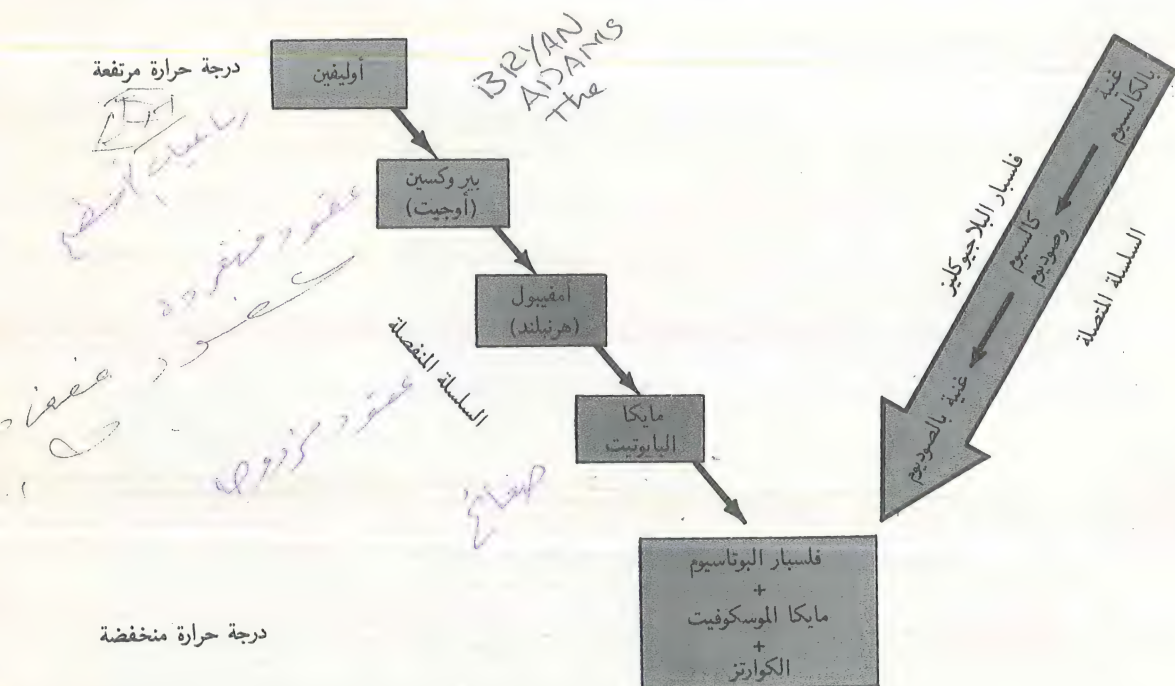
تتكون المعادن الأخرى في هذا التتابع من العقود المنفردة والعقود المزدوجة والصفائح على الترتيب. وطبيعى أن هذه التفاعلات غير متكاملة، ولهذا فإن كمية متنوعة من كل هذه المعادن قد تتواجد في أى لحظة.

أما الفرع الأيمن لهذا التفاعل، فهو متصل، حيث تتكون فيه أولا بلورات الفلسبار الغنى بالكالسيوم التى تتفاعل مع أيونات الصوديوم المتوفرة لتصبح تدريجيا غنية بالصوديوم. وكثيرا ما يتم التبريد بسرعة لا تسمح بالانتقال الكامل من فلسبار غنى بالكالسيوم الى فلسبار غنى بالصوديوم. وفي هذه الحالات فإن بلورات الفلسبار يكون داخلها غنى بالكالسيوم بينما تزداد النطاقات المتتالية غنى فى الصوديوم.

وخلال المرحلة النهائية للتبلر وبعد أن يكون معظم

الى أن محتوى الجزء المنصهر من السليكون يزداد في المراحل الأخيرة من التبلر.

وقد أثبت بووين أيضا أن أى معدن يبقى في الجزء المنصهر بعد تبلره لمدة طويلة، يتفاعل مع بقية الصهير وينتج عنه المعدن الذى يليه في التتابع الموضح في شكل 3-6. ولهذا السبب فإن هذا الترتيب للمعادن قد عرف باسم **تتابع تفاعلات بووين**. وفي أعلى الفرع الأيسر لهذا التتابع نجد أن الأوليفين، وهو أول المعادن تبلرا، يتفاعل مع بقية الصهارة وينتج عنه معدن الأوجيت. ويستمر هذا التفاعل حتى يتكون المعدن الأخير في التتابع وهو البايوتيت. ويسمى هذا الفرع الأيسر بالتتابع المنفصل، لأن لكل معدن من معادن هذا التتابع بنيته البلورية الخاصة به. تذكر أن الأوليفين يتكون من رباعيات الأسطح، بينما



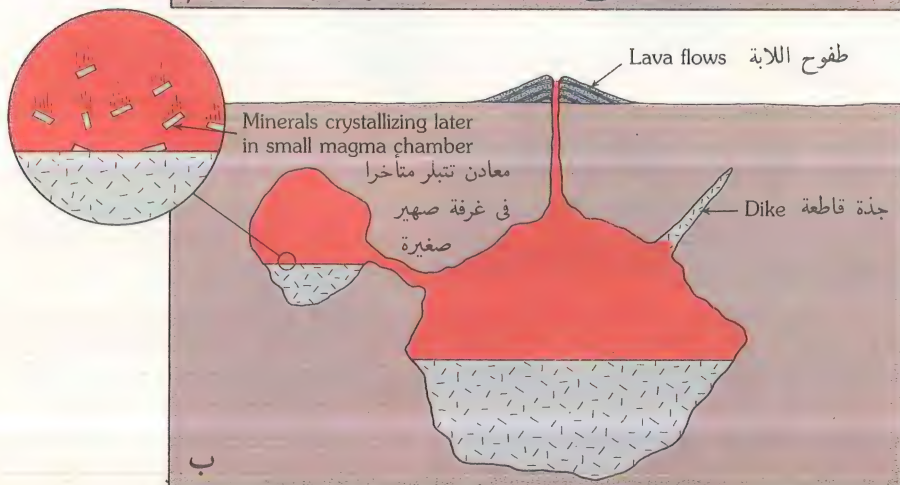
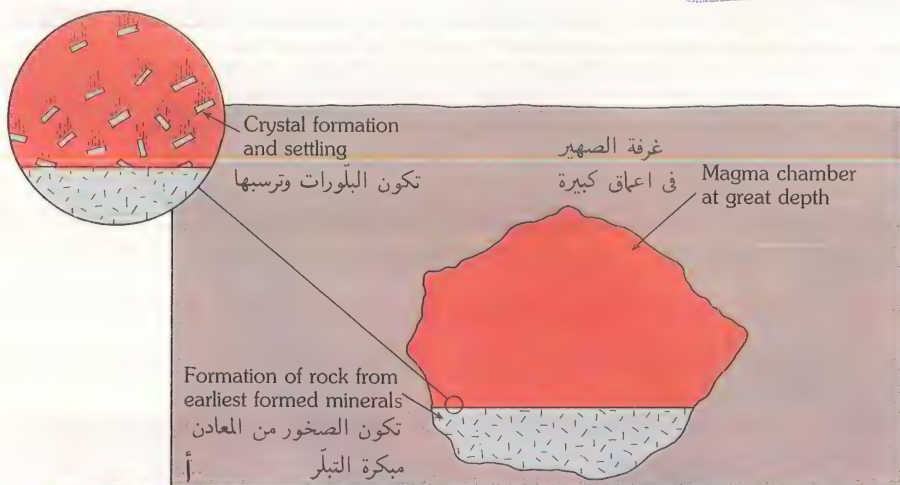
شكل 3-6

توضح مجموعة تفاعلات بووين الترتيب الذى تتبلر به المعادن من الصهير. قارن هذا الشكل بالترتيب المعدنى لمجموعات الصخور فى الجدول رقم 3-1. لاحظ أن كل مجموعة من الصخور تحتوى على معادن تتبلر فى آن واحد.

مكان آخر، إذا حدث وأن تسربت خارج غرفة الصهير، فانها تكون صخورا لها تركيب كيميائي يختلف عن الصهير الأصلي (شكل 3 - 7 ب). وفي كثير من الحالات فان الصهارة التي تتسرب من الغرفة الأصلية للصهير سوف تمر بمراحل تمايز أخرى. وبينما يستمر التبلر في الصهير الجديد فان الأجزاء الصلبة قد تتجمع على هيئة كتل صخرية تحيط بها جيوب من المواد المنصهرة. ومن المحتمل أن بعضا من هذه الصهارة سوف يدخل من الخليط الى الشقوق التي تنشأ في الصخور المجاورة وينتج عن هذه الطريقة صخورا نارية من تركيب آخر.

والطريقة المتعلقة بتمايز المعادن بواسطة التبلر التفاضلي والفصل تسمى بالتبلر التجزئي. وفي أى مرحلة من مراحل التبلر يمكن أن تنفصل الصهارة عن الجزء المتصلب في

الصهير قد تصلب، تتبلر بقية الصهارة على هيئة معادن الكوارتز (المرو) والموسكوفيت وفلسبار البوتاسيوم. ولو أن هذه المعادن تتبلر بالترتيب الموضح، الا أن هذا الترتيب لا يمثل تنابعا حقيقيا للتفاعلات. وقد أوضح بووين أن المعادن تتبلر من الصهير بطريقة منتظمة ولكن كيف يمكن بواسطة تنابع تفاعلات بووين تفسير التنوع الكبير في الصخور النارية؟ يبدو أنه خلال مرحلة أو أكثر من مراحل التبلر، يتم في بعض الأحيان فصل مكونات الصهير الصلبة عن مكوناته السائلة. وهذا يمكن أن يحدث مثلا اذا كانت المعادن التي تصلبت أولا أثقل من بقية السائل المنصهر حيث تترسب في قاع غرفة الصهير كما يتضح من شكل 3 - 7 أ. ويعتقد بأن مثل هذا الترسيب يحدث كثيرا بالنسبة للسليكات الغامقة كالأوليفين. وعندما تتبلر بقية الصهارة اما في مكانها أو في



شكل 3 - 7

انفصال المعادن بواسطة التبلر التجزئي. (أ) - توضيح للطريقة التي تنفصل بها المعادن المتكونة أولا من صهير عن طريق الترسيب. (ب) - وقد تتسرب الصهارة المتبقية الى واحد من مواقع مختلفة وبعد مرحلة أخرى من التبلر تتكون صخور لها تركيب معدني مختلف من الصهير الأم.

الصخور النارية يتوافق مع تتابع تفاعلات بووين (شكل 3 - 6).

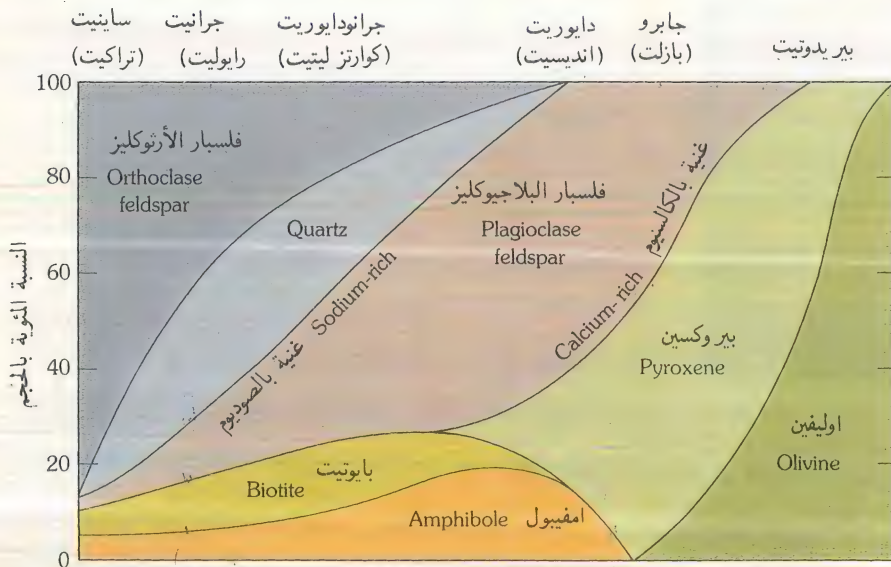
فأول المعادن تبلراً: فلبسبار الكالسيوم والبير وكسين والأوليفين. وهى غنية بالحديد والمغنيسيوم والكالسيوم، وفقيرة فى السليكون. فالبازلت هو صخر نابط له تركيب من هذا النوع، ولهذا فإن لفظة بازلتى تعنى صخوراً من هذا النوع. وبسبب محتواها من الحديد فإن الصخور البازلتية تظهر عادة بلون أغمق الى جانب أنها أثقل نسبياً من الصخور النارية الأخرى التى توجد عادة فوق سطح الأرض.

ومن المعادن المتبلرة أخيراً فلبسبار البوتاسيوم والسليكا (كوارتز). والصخور النارية التى يغلب على تركيبها هذين المعدنين عادة ما توصف بأن لها تركيباً جرانيتياً. أما الصخور المتوسطة فعادة ما تتكون من معادن تمثل الوسط فى تتابع تفاعلات بووين. ويعد معدن الهورنبلند مع فلبسبار البلاجيوكليز المتوسط من أهم مكونات هذه المجموعة الصخرية. وسوف نطلق على الصخور ذات التركيب المتوسط بين الجرانيت والبازلت لفظ الصخور الأنديسيتية.

ولذلك فإن التبلر التجزئى يمكن أن ينتج صخوراً نارية لها تركيب متفاوت التكوين. ولهذا فقد أوضح بووين أنه يمكن من خلال التبلر التجزئى الحصول على أنواع عدة من الصخور النارية. ولكن أبحاثاً حديثة أثبتت أن هذه الطريقة لا تفسر الكميات المعروفة لأنواع الصخور المختلفة. ولو أنه يمكن الحصول على أكثر من نوع واحد من الصخور من نفس الصهير، إلا أنه لا بد أن يكون هناك طرق أخرى للحصول على صهير متنوع التركيب. وسوف ننظر فى مثل هذه الطرق فى نهاية هذا الفصل.

تسمية الصخور النارية

وكما أسلفنا فإن الصخور النارية تصنف أو تجمع على أساس النسيج والتركيب المعدنى. فأنواع النسيج المختلفة تنشأ من حالات التبريد متفاوتة. أما التركيب المعدنى فهو نتيجة مباشرة للتركيب الكيميائى لصهير المنشأ ولطبيعة بيئة التبلر. وحسب ما نتوقعه من نتائج دراسات بووين، فإن المعادن التى تبلر تحت ظروف متشابهة تتواجد مع بعضها مكونة نفس النوع من الصخور النارية. ولهذا فإن تصنيف



شكل 3 - 8

التركيب المعدنى للصخور النارية الشائعة. الكلمات التى بين قوسين تدل على إسم الصخر النابط الذى يقابله.

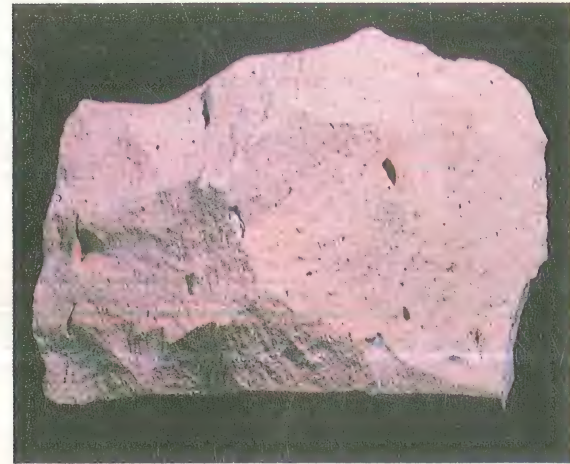
وليس من المستغرب أن نجد نوعين من الصخور لهما نفس التركيب المعدني ولكنها مختلفان في التسمية. ويرجع ذلك جزئيا الى كون كثير من الصخور النارية تحمل أسماء قديمة أعطيت لها على أساس مظهرها الخارجي بدلا من تركيبها المعدني. فمثلا الصخور المفتحة ذات النسيج الخشن، جرانيت، يطابقها تماما صخر بركاني ذو نسيج دقيق

وبالرغم من أن كل واحد من مجموعة الصخور القلوية يتكون أساسا من معادن تمثل نطاقا ضيقا من تتابع تفاعلات بووين، إلا أن محتويات أخرى قد تكون موجودة بكميات ضئيلة. فمثلا تتكون الصخور الجرانيتية أساسا من معدني الكوارتز وفلسبار البوتاسيوم، ولكنها قد تحتوي على كميات من معادن الموسكوفيت والبايوتيت والأمفيبول وفلسبار الصوديوم (جدول 3 - 1).

وتركز النقاش على ثلاثة تركيبات معدنية فقط ولكن من المهم ملاحظة أن هناك تدرجا بين هذه الأنواع (شكل 3 - 8). فمثلا يتوفر نوع من الصخور النارية المفتحة يسمى جرانوادايوريت له تركيب كيميائي بين صخور ذات تركيب جرانيتي وأخرى ذات تركيب أنديسييتي. وهناك صخر آخر مهم يسمى بيريدوتيت يحتوي على الأوليفين في معظمه ويقع في بداية تتابع تفاعلات بووين. ومن المعتقد بأن البيريدوتيت يشكل نسبة كبيرة في الجزء العلوي من الوشاح.



أ



ب

شكل 3 - 9

(أ) - جرانيت. أحد الصخور النارية خشنة الحبيبات، الأكثر شيوعا.
(ب) - رايوليت. الصخر دقيق الحبيبات المقابل للجرانيت هو أقل وفرة.

ومن المظاهر المهمة في التركيب المعدني للصخور النارية، محتواها من السليكا (س 2). تذكر أن معظم المعادن في الصخور النارية تحتوي على السليكا. وفي العادة، تتراوح نسبة السليكا بين المستوى المنخفض وهو 50% في الصخور البازلتية والمستوى المرتفع وهو 70% في الصخور الجرانيتية. فالنسبة المئوية للسليكا في الصخور النارية عادة تتغير بانتظام مواز لوفرة العناصر الأخرى. فمثلا، الصخور الفقيرة في السليكا بها كميات كبيرة من الكالسيوم والحديد والماغنسيوم. وتبعاً لذلك فإنه يمكن معرفة التركيب الكيميائي للصخور النارية من محتواها من السليكا. فكمية السليكا الموجودة في الصهير تؤثر بشدة في مسلكه. فصهير الجرانيت الذي يحتوي على مقدار عال من السليكا، هو لزج نوعا ما ويوجد في حالة سائلة عند درجات حرارة تصل في انخفاضها الى 800° م. وعلى العكس من ذلك فالصهير البازلتيتي يندفع في درجات حرارة أكثر ارتفاعا، عادة ما تصل 1200° م أو أكثر.

جدول 3 - 1
الصخور النارية الشائعة.

جرانيتية	أنديسيتية	بازلتية	
جرانيت رايوليت	دايوريت انديسيت	جايرو بازلت	مفتحة ناطقة
كوارتز فلسبار البوتاسيوم	أمفيبول فلسبار البلاجيوكليس المتوسط	فلسبار الكالسيوم بيروكسين	التركيب المعدني الغالب
فلسبار الصوديوم	بايوتيت		
موسكوفيت بايوتيت أمفيبول	بيروكسين	أوليفين أمفيبول	محتوى المعادن القليلة

يسمى رايوليت، ورغم أن هذين الصخرين متساويين في التركيب المعدني، إلا أن لهما نسيجاً مختلفاً وهما متشابهان في المظهر ولهذا فقد أعطيا اسمين مختلفين (شكل 3 - 9).

الصخور الجرانيتية

الجرانيت: يمكن اعتبار الجرانيت على أنه أكثر الصخور النارية شهرة (شكل 3 - 9 أ) وربما يعزى هذا جزئياً إلى جماله الطبيعي، الذي يزداد وضوحاً عندما يتم تلميعه، كما ويعزى جزئياً إلى وفرته. فقوالب الجرانيت الملمعة عادة ما تستعمل لنصب المقابر والنصب التذكارية، وأحجار البناء.

والجرانيت هو صخر خشن النسيج مكون من نسبة تصل إلى 25 % كوارتز (مرو) وأكثر من 50 % فلسبار البوتاسيوم، والفلسبار الغنى بالصوديوم. فبلورات الكوارتز (المرو) عادة ما يكون شكلها مدوراً ولونها شفافاً أو رمادياً. وعلى عكس الكوارتز (المرو) فإن بلورات الفلسبار في الجرانيت ليست زجاجية وشكلها مستطيل ولونها قرنفلي فاتح إلى أبيض. والمكونات الأخرى للجرانيت هي الموسكوفيت والسليكات الغامقة، وعلى الأخص البايوتيت والأمفيبول. وبالرغم من أن المحتوى الغامق للجرانيت لا يتعدى العشرين بالمائة لمعظم العينات، إلا أن مظهر المعادن الغامقة يوحي بأنها أوفر من نسبتها المثوية الفعلية. ففي بعض

صخور الجرانيت، فلسبار البوتاسيوم هو الغالب ولونه وردي غامق مما يعطى للصخر مظهراً محمراً. وهذا النوع من الحجارة شائع الاستعمال كمادة للبناء. ولكن كثيراً ما تبدو حبيبات الفلسبار بيضاء حتى أنه إذا شوهدت من بعد يبدو لون الصخر رمادياً خفيفاً. وقد يكون للجرانيت أيضاً نسيج متباين حيث تتنوع فيه بلورات الفلسبار التي يصل طولها سنتيمتراً واحداً أو يزيد، متناثرة داخل كتلة أساسية من الحبيبات الخشنة لمعدني الكوارتز (المرو) والأمفيبول.

وينتج الجرانيت عادة عن عمليات نشأة الجبال. وحيث أن الجرانيت يعتبر نتاجاً لبناء الجبال وأنه شديد المقاومة للتجوية والتعرية فإنه كثيراً ما يكون وسط الجبال التي أكلتها التعرية. فمثلاً هناك عدة مناطق تظهر فيها كميات هائلة من الجرانيت بأمريكا الشمالية، من بينها قمة بايكس في جبال الروكي، وجبل راشمور في منطقة (بلاك هيلز)، والجبال البيضاء (ايت ماونتنتز) في ولاية هامبشر الجديدة وجبل ستون في ولاية جورجيا ومنتهز اليوسيميتي في صحراء نيفادا (شكل 3 - 10). وكما نرى من هذه الأمثلة فإن الجرانيت يعتبر صخوراً وفيراً جداً. ولكن من المتبع بين الجيولوجيين أن يطلقوا لفظ جرانيت على أي صخر جوفي مقتحم مكون في غالبيته من معادن السليكات فاتحة اللون، وسوف تتبع هذا الأسلوب لغرض التبسيط ويجب أن يتذكر

المنازل من بغماتيت، يقع في ولاية كارولينا الشمالية بأمريكا. كما تم العثور على بلورات ضخمة سداسية الشكل من معدن موسكوفيت يصل قطرها عدة أمتار وذلك في ولاية أنتاريو بكندا. أما في هضاب البلاك هيلز بأمريكا، فقد تم تعدين بلورات بطول أعمدة الهواتف من فلسبار الصوديوم الذي يحتوى على عنصر الليثيوم. وقد بلغ طول أكبرها 12 مترا. وليس لكل البغماتيت بلورات بهذا الحجم، ولكن هذه الأمثلة توضح الظروف الخاصة التي يجب أن تتوفر عند تكوّن البغماتيت.

وبالرغم من أن معظم صخور البغماتيت هي جرانيتية التركيب وتتكون من بلورات كبيرة من الكوارتز والفلسبار والموسكوفيت، إلا أنه يوجد أيضا بغماتيت ذو تركيبات

الطالب دائما أن لفظ جرانيت يغطى صخورا لها تركيب معدنى واسع المدى.

ويحتوى الصهير ذو التركيب الجرانيتى على 5 % من الماء. وحيث أن الماء لا يتبلر في غرفة الصهير فيمكن أن يمثل الماء نسبة مئوية أكبر في الصهارة خلال المرحلة النهائية من التصلب. فالصهير المتبلر في وسط مشبع بالماء، حيث يساعد ذلك على انتقال الأيونات، يكون بلورات يصل طولها عدة سنتيمترات ان لم يكن عدة أمتار. ويسمى الصخر الناتج ببغماتيت، وهو يتكون عادة من بلورات ذات حجم غير عادى.

وأكبر البلورات حجما على الإطلاق التي تم اكتشافها، في البغماتيت. وتم الحصول على كتل من الفلسبار بحجم

شكل 3 - 10

منتزه يوسيميتى الوطنى الذى يقع في صحراء نيفادا الأمريكية، هو أحد المناطق التى يكثر فيها ظهور الجرانيت عند السطح.



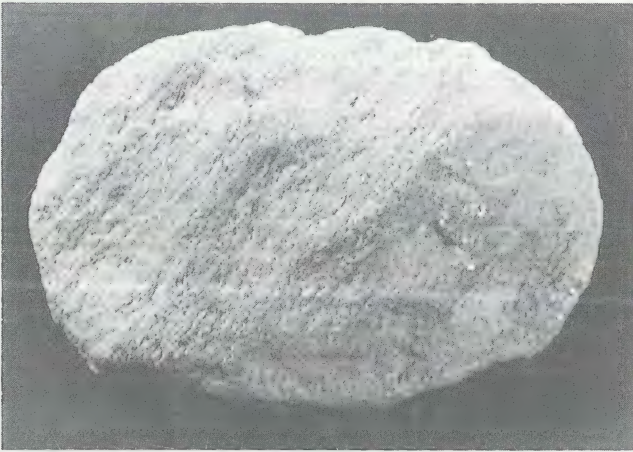
النسيج، وكثيرا ما يحتوى على قطع زجاجية وعيون فارغة تدل على سرعة التبريد في بيئة سطحية. وفي الحالات التي يحتوى فيها الرايوليت على بلورات مورثة، تكون عادة صغيرة الحجم ومكوّنة اما من الكوارتز (المرو) أو فلسبار البوتاسيوم. وبعكس الجرانيت فالرايوليت ليس شائعا ويعتبر منتزه اليابلوستون بأمريكا حالة استثنائية معروفة جيولوجيا حيث تنتشر هناك وبكثرة طفوح لابة الرايوليت وتراكبات الرماد البركاني المتشابهة التكوين.

الأبسيدان : هو صخر غامق اللون زجاجى النسيج، يتكون عندما تبرد الحمم بسرعة (شكل 3 - 11 أ). وبالعكس الترتيب المنظم للأيونات الذى تتصف به المعادن، فان الأيونات في الزجاج مبشرة. ولهذا فان الصخور الزجاجية لا تحتوى على معادن بنفس المعنى الذى يوجد في الصخور الأخرى.

وبالرغم من أن للأبسيدان لون اسود أو بنى محمر الا أن محتواه من السليكا عال جدا مما يجعله أقرب في تركيبه الى الصخور النارية الفاتحة مثل الجرانيت منه الى الصخور الغامقة ذات التركيب البازلتى. والسليكا النقية شفافة مثل

أخرى. ولبعض صخور البغماتيت قيمة اقتصادية، إذ يستخدم الفلسبار في انتاج الخزف والموسكوفيت في الزجاج المسطح وفي العزل الكهربائى وفي الطلاء المتلألئ. وبما أن صخور البغماتيت تتكون في نهاية عمليات التبلر فهي غالبا ما تحتوى على العناصر النادرة. ولهذا فان بعض المعادن النادرة توجد عادة في البغماتيت. والى جانب معادن السليكات المعروفة، فان بعض أنواع البغماتيت تحتوى على بعض المعادن الثمينة، مثل البيريل والتوباز والزمرد. وكذلك المعادن المكونة من عناصر الليثيوم والسيزيوم واليورانيوم. وتوجد العناصر النادرة أيضا في البغماتيت. ويوجد معظم البغماتيت في كتل كبيرة من الصخور النارية أو في عروق تقطع الصخور المجاورة لغرفة الصهير. ففي الحالات الأخيرة، يعتقد بأن محاليل المياه الحارة قد رسبت المعادن في الشقوق التى تشعبت في الصخور المحيطة.

الرايوليت : هو الصخر البركاني المكافئ للجرانيت. ومثل الجرانيت فهو مكون من السليكات فاتحة اللون (شكل 3 - 9 ب) وتفسر هذه الحقيقة لونه الذى يتراوح بين الجاموسى والوردى أو الرمادى الخفيف. وعادة ما يكون الرايوليت دقيق



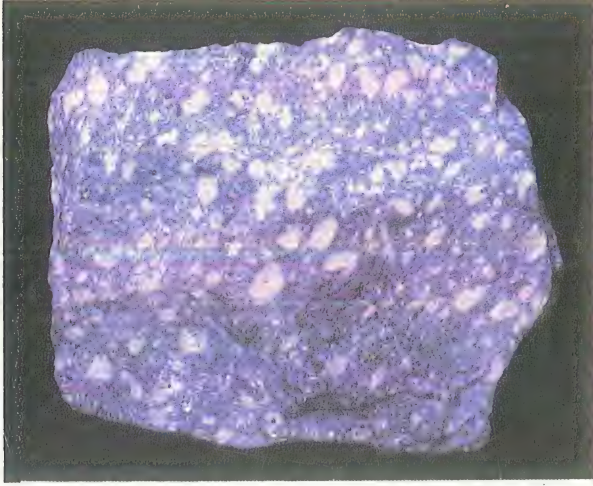
ب



أ

شكل 3 - 11

(أ) - الأبسيدان، صخر بركانى زجاجى. (ب) - بيوميس. صخر زجاجى يحتوى على عدة فجوات صغيرة.



شكل 3 - 12

أنديسيت متباين، وهو صخر بركاني شائع.

الهرنلند وكميات قليلة من البايوتيت. وبما أن بلورات الفلسبار الفاتحة وبلورات الهرنلند الغامقة هي متساوية في الحجم تقريبا وفي الوفرة فإن الدايوريت له مظهر خليط من الملح والفلفل الأسود.

الصخور البازلتية

البازلت: هو صخر بركاني ذو مدي لوني بين الأخضر الغامق والأسود، دقيق الحبيبات مكون أساسا من البيروكسين والفلسبار الغنى بالكالسيوم مع كميات أقل من الأوليفين والأمفيبول (شكل 3 - 13). وعندما يكون البازلت متباين النسيج، فإنه يحتوي على بلورات مورثة صغيرة فاتحة اللون من فلسبار الكالسيوم مغمورة في كتلة أساسية سوداء.

ويعتبر البازلت من أكثر الصخور النارية النابطة انتشارا فهو المكون الرئيسى لعدد كبير من الجزر البركانية مثل جزر هاواي وآيسلندة. هذا الى جانب أن الطبقات العليا للقشرة المحيطية مكونة من البازلت. ففي الولايات المتحدة مثلاً؛ أجزاء شاسعة من ولايتي أريجون وواشنطن كانت مواقع

شكل 3 - 13

لابة ذات تركيب بازلتى من فوهة بركان كيلأوا، هاواي.

زجاج النوافذ ولكن اللون الغامق ينتج من وجود أيونات فلزية. وإذا فحصت قطعة رقيقة من الأبسيديان فانك تجدها شفافة تقريبا. ووجود التكسر المحارى الجيد فى الأبسيديان جعل له قيمة عالية حيث كان إنسان العصر الحجري يصنع منه رؤوس الحراب وأدوات القطع.

البيوميس : هو صخر بركانى له نسيج زجاجى مثل الأبسيديان. وعادة ما يوجد البيوميس فى جوار الأبسيديان، ويتكون من تسرب كميات كبيرة من الغازات من خلال الابة البركانية لتنتج كتلا زبدية رمادية اللون (شكل 3 - 11 ب). وهذه المادة تشبه الى حد كبير الرغوة الناتجة عن فتح زجاجة مشروب غازى. ففي بعض العينات يمكن رؤية الكيسيات أو الفجوات بالعين المجردة أما فى بعضها الآخر فيشبه البيوميس الشذرات الزجاجية الدقيقة الملتحمة، ونظرا لارتفاع نسبة الفراغات فى البيوميس فان كثيرا من أنواعه تطفو فوق الماء وكثيرا ما تظهر خطوط الانسياب فى البيوميس لتدل على اتجاه حركته قبل تصلبه. هذا بالإضافة الى أن البيوميس والأبسيديان قد يتواجدان فى نفس الكتلة الصخرية حيث يكونان طبقات متعاقبة.

الصخور الأنديسيتية

الأنديسيت: هو صخر من أصل بركانى لونه رمادى متوسط وحبيباته دقيقة. وقد جاء هذا الاسم من جبال الآنديز، حيث توجد عدة براكين مكونة من هذا النوع من الصخور. وإلى جانب براكين جبال الآنديز فان معظم التركيبات البركانية المنتشرة حول المحيط الهادى لها تركيب أنديستى. وعادة ما يكون للأنديسيت نسيج متباين (شكل 3 - 12). وفى هذه الحالات يكون للبلورات المورثة لون فاتح، وهى بلورات من فلسبار البلاجيوكليز مستطيلة الشكل. أو من بلورات الهرنلند السوداء ذات الاستطالة.

الدايوريت: صخر مفتحم كبير الحبيبات يشبه الجرانيت الرمادى. ولكن يمكن تمييزه عن الجرانيت بعدم احتوائه على بلورات مرئية من الكوارتز (المرو). والتركيب المعدنى للدايوريت هو عبارة عن بلاجيوكليز غنى بالصوديوم مع



لاندلاع البازلت النابط (شكل 4 - 21)، حيث يصل سمك هذه الطفوح في بعض المواقع حوالى كيلومترين اثنين.

الجابرو: هو الصخر المقتحم المكافئ للبازلت ولونه غامق مثل البازلت، ويتكون أساسا من البيروكسين والبلاجيوكليس الغنى بالكالسيوم. ورغم أن الجابرو ليس وفيرا في القشرة القارية الا أنه يمثل بدون شك جزءا كبيرا من القشرة المحيطية. وهناك كمية كبيرة من الصهير في الغرف الجوفية التى غذت في وقت ما الطفوح البازلتية، وقد انتهت بالتصلب في أعماق الأرض لتكون صهيرا متصلبا من الجابرو.

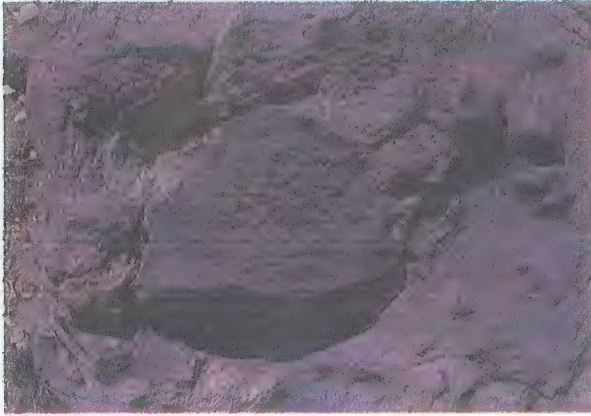
الصخور الفلذبركانية

تتكون الصخور الفلذبركانية من القطع المقذوفة خلال فوران البراكين. وأحد صخور الفلذبركانية الشائعة المسماة «توفة» تتكون من قطع صغيرة بحجم الرماد كانت قد تلاحت فيما بعد. وفي الحالات التى بقيت فيها قطع الرماد ملتصبة الى حد كاف لالتحامها يسمى الصخر الناتج توفة ملتصبة. وبما أن التوفة الملتصبة تتكون من كسر الزجاج فقد يشبه مظهرها البيوميس الى حد كبير.

أما الصخور الفلذبركانية المكونة من قطع أكبر من الرماد فهي تسمى البريشة البركانية (شكل 3 - 14). ويمكن أن تكون القطع المكونة للبريشة البركانية على هيئة حجارة تصلبت في الهواء، أو كتل انسلخت من جدار الفوهة، أو بلورات أو قطع زجاجية. وبخلاف باقى أسماء الصخور النارية الأخرى، فإن كلا من التوفة والبريشة البركانية لا تدلان على التركيب المعدنى.

تواجد الصخور النارية

رغم أن اندلاع البراكين يعتبر من أعنف وأفظع الأحداث الطبيعية، وأنها تستحق بذلك الدراسة المتمعنة، الا أن الجزء الأكبر من الصهير يستقر في أعماق الأرض. ولهذا فان فهم النشاط النارى المقتحم لا يقل في أهميته لدى



شكل 3 - 14

بريشة بركانية. تنسلخ قطع من اللابة المتصلبة من جدار الفوهة وتختلط بالكتل المنصهرة الفائرة.

الجيولوجيين عن دراسة الأحداث البركانية. والتركيبات التى تنشأ عن استقرار المواد النارية في الأعماق تسمى بلوتونات. وحيث أن البلوتونات تتكون بعيدا عن المشاهدة تحت سطح الأرض فانها لا يمكن دراستها الا بعد رفعها الى أعلى وظهورها على السطح بواسطة عوامل الرفع والتعرية. ويشكل تصور الأحداث السابقة التى أدت الى نشأة هذه التركيبات منذ ملايين أو مئات الملايين من السنين، تحديا واضحا للدارسين.

وقد فصلنا مناقشة النشاط البركانى عن مناقشة النشاط البلوتونى من أجل التوضيح، وسوف نعالج ظاهرة البراكين في الفصل التالى، أما الآن فسوف نركز على النشاط البلوتونى. ولا بد من أن نتذكر دائما أن هذه العمليات المختلفة تقع متلازمة وتشمل في أساسها نفس المواد التى تتكون منها الأرض.

طبيعة البلوتونات

توجد البلوتونات على هيئة مختلفة من حيث الشكل والحجم. ويوضح شكل 3 - 15 بعض الأنواع السائدة. لاحظ أن بعض هذه التركيبات لها أشكال مسطحة والبعض

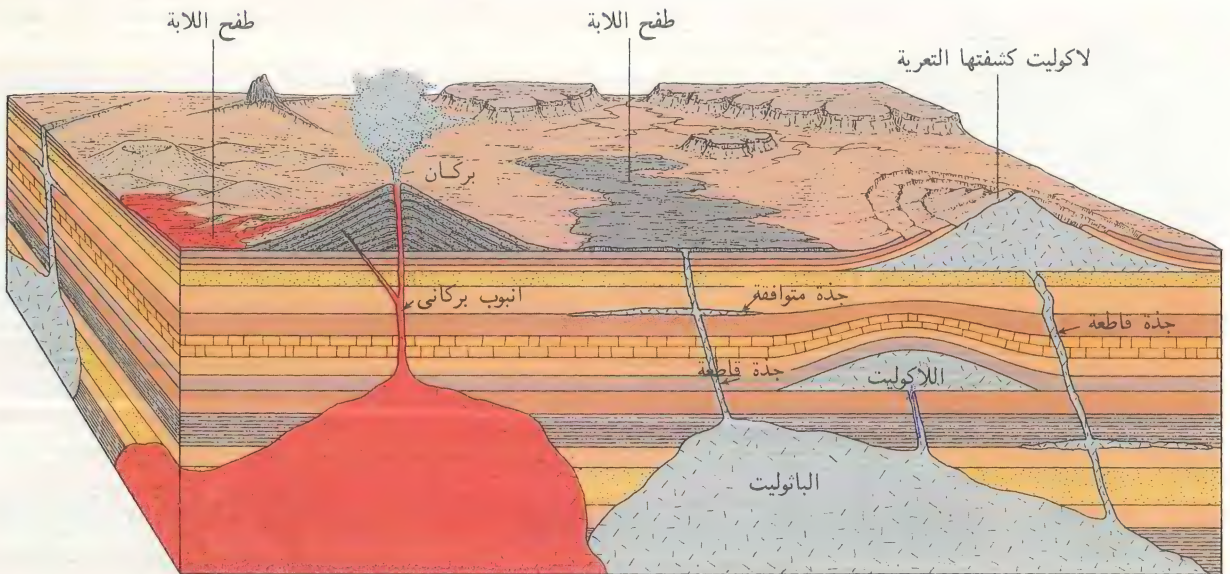
حجم الشقوق التي يدخلها. وبعد تبلّر هذه التركيبات المسطحة فاننا نجد أن سمكها يتراوح بين ما هو أقل من السنتيمتر الى حوالى الكيلومتر. ويبلغ سمك معظم الجذد القاطعة عدة أمتار ولا يزيد امتداد معظمها عن بضعة كيلومترات. وغالبا ما يكون اتجاه الجذد القاطعة رأسيا، وهي تمثل المسارب التي سلكتها الصخور المنصهرة لتغذى مواقع اللابة القديمة. وبعض الجذد القاطعة تنتهى فجأة الى اسفل وبعضها الآخر يقود الى بلوتونات.

وربما تتجوى الجذد القاطعة بمعدل أبطأ من الصخور المجاورة لها. وعند ظهورها على السطح قد تأخذ شكل جدار كما هو مبين فى شكل 3 - 16. وغالبا ما توجد هذه الجذد متشعبة مثل تشعب الدولاب من رقبة بركانية معراة (أنظر شكل 4 - 18). ويعتقد فى هذه الحالات أن صعود الصهير المندفِع يسبب تشققات فى مخروط البركان.

الجذد المتوافقة: هى عبارة عن بلوتونات مسطحة تتكون

الآخر له أشكال سميكة. لاحظ أيضا أن بعض هذه الأجسام يقطع التركيبات التي تواجدت قبله، مثل الأسطح الطبقيّة للصخور الرسوبية، بينما يتكون البعض الآخر عندما يحشر الصهير بين طبقتين رسوبيتين وبسبب هذه الفروق فإن الصخور النارية المفتحة تصنف حسب شكلها. أما أن تكون مسطحة أو كتلية، الى جانب اتجاهها بالنسبة للصخور التي تحتويها. ويقال عن البلوتون بأنها جذة قاطعة اذا كانت تخترق الطبقات المجاورة أو جذة متوافقة اذا كان وضعها موازيا للتركيبات السابقة لها. هذا بالاضافة الى ما تراه فى شكل 3 - 15 من مصاحبة البلوتونات للنشاط البركاني. وأكبر الأجسام المفتحة هى تلك التي يعتقد بأنها تمثل بقايا غرف الصهير التي كانت تزود البراكين.

الجذد القاطعة: هى عبارة عن أجسام نارية مسطحة تنشأ عندما يملأ الصهير شقوقا محترقة للطبقات. وقد يصبح الضغط الذي يحدثه اندفاع الصهير قويا لدرجة أنه يزيد من



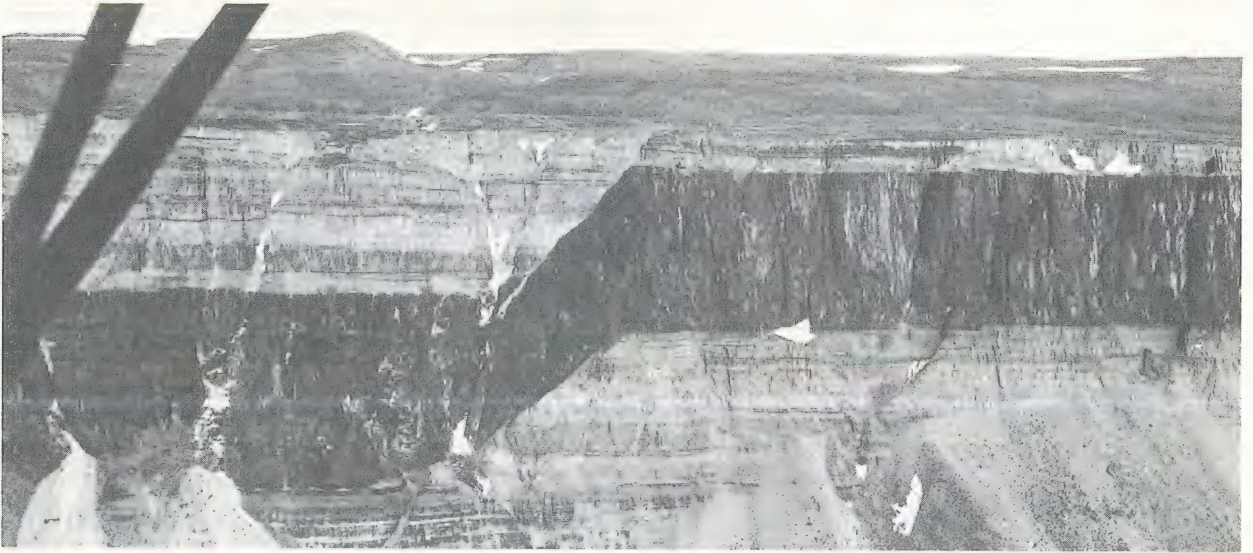
ان استقرار أى جُدة فى مكانها يتطلب رفع الصخور الرسوبية التى فوقها الى ارتفاع مساو لسمكها. وقد يبدو هذا أمرا صعبا ولكنه يتطلب طاقة أقل بكثير من تلك اللازمة لدفع الصهير الى أعلى للوصول الى السطح. ولذلك فان الجُدة المتوافقة تستقر فى أعماق ضحلة حيث يقل الضغط الناشئ عن ثقل الطبقات التى فوقها. ورغم أن الجُدة المتوافقة تقتحم الفراغ الذى بين الطبقات الا أنها قد لا

عندما يحشر الصهير بين الأسطح الطبقيه الرسوبية (شكل 3 - 17). وعادة ما تكون هذه الجُدة افقية الوضع الا انها توجد فى كل الأوضاع الأخرى بما فى ذلك الوضع الرأسى. ونظرا لانتظام سمك الجُدة المتوافقة وامتدادها الواسع، فانه يعتقد بأنها تتكون من لابة شديدة السيولة. وكما نتوقع عادة فان الجُدة المتوافقة تتألف من الصهير البازلتى الذى هو عادة ما يكون شديد السيولة.



شكل 3 - 16

التركيب المسطح فى مقدمة الصورة هو عبارة عن جُدة قاطعة، وفى خلفية الصورة تظهر الصخرة السفينة بولاية مكسيكو الجديدة. وهى عبارة عن ما تبقى من انبوب كان يغذى بركانا فى وقت ما، وقد عملت التعرية على ازالته منذ مدة.



شكل 3 - 17

جزيرة بانكس بكندا. الحزام الأفقى الغامق هو جُدة من البازلت مخترقة لطبقات منبسطة من الصخور الرسوبية.

طبقات الصخور التى تقع أسفله. أما الجذد المتوافقة فتتكون عادة عندما ينحشر الصهير بين الطبقات الرسوبية تاركا شوائب من الصخور المحيطة فى السطحين السفلى والعلوى. كما أن كلا الطبقتين المحيبتين تتعرضان للثنى وهذا دليل واضح على أن الجسم النارى يمثل جذة متوافقة.

اللاكوليث: تشبه اللاكوليث الجذد المتوافقة، لأنها تتكون عندما ينحشر الصهير بين طبقتين من الصخور الرسوبية قرب سطح الأرض، ولكن على عكس ما هو معروف فى الجذد المتوافقة فانه يعتقد بأن الصهير المكون لللاكوليث عادة ما يكون أكثر لزوجة. ويتجمع الصهير الكثيف قليل السيولة على هيئة كتلة عدسية تعمل على تقوس الطبقات التى تعلوها (أنظر شكل 3 - 15). ولهذا السبب فانه يمكن معرفة موقع اللاكوليث على السطح حتى قبل أن تنزل عوامل التعرية طبقات الصخور التى فوقها.

ولا يتعدى اتساع معظم أحجام اللاكوليث أكثر من بضعة كيلومترات. فمثلا جبال هنرى، الواقعة فى جنوب شرق ولاية يوتا الأمريكية، هى عبارة عن عدد من أجسام اللاكوليث الكبيرة التى يعتقد بأنها كانت تتغذى من صهير كبير الحجم قد تجمع فى الطبقات القريبة. كما يعتقد بعض الجيولوجيين بأن الهيكل المعروف (برج الشيطان) فى شرق ولاية وايومنغ هو عبارة عن بقية من لاكوليث.

الباثوليث: يمثل الباثوليث أكبر الأجسام النارية المقترحة. ويتكون أكبر حجم للباثوليث عادة من تركيب صخرى يبلغ عدة مئات من الكيلومترات طولا وحوالى مائة كيلومتر عرضا كما هو مبين فى شكل 3 - 19. ويغطى باثوليث أيداهو مثلا شمال غربى أمريكا مساحة تزيد عن 40.000 كيلومتر مربع. وتشير المعلومات غير المباشرة المستمدة من دراسات الجاذبية على أن للباثوليث سمك كبير أيضا قد يمتد ليخترق معظم القشرة الأرضية من تحته. وبناء على الأحجام التى تكشفها التعرية عند سطح الأرض فان بعض أحجام الباثوليث يزيد سمكها عن بضعة كيلومترات. ومن المصطلح عليه أن لا تقل المساحة التى يغطيها البلوتون عن 80

تكون متوافقة معها على طول امتداد الطبقات. فالجذد المتوافقة الكبيرة عادة ما تخترق الطبقات الرسوبية ثم ترجع الى طبيعة توافقها فى مستوى أعلى.

وان من اشهر وأكبر الجذد المتوافقة فى الولايات المتحدة مثلا هى متوافقة الباليسيدس التى تظهر على امتداد الشاطئ الغربى لنهر الهدسون فى جنوب شرق ولاية نيويورك وشمال شرق ولاية نيويورك. ويبلغ سمك هذه المتوافقة حوالى 300 متر، ونظرا لطبيعة مقاومتها للتعرية فهى تظهر على هيئة واجهة جبلية يمكن رؤيتها بسهولة من الجانب المقابل لنهر الهدسون. ونظرا لكبر سمكها وبطء معدل تبلرها فان هذه المتوافقة تزود الجيولوجيين بمثال ممتاز للتبلر التفاضلى للصهير. وتتألف هذه المتوافقة من صهير غنى بمعادن الأوليفين والبيروكسين والبلاجيوكليس. فالأوليفين الذى هو أثقل وأول ما يتبلر من هذه المعادن، قد غاص الى القاع مكونا حوالى 25 % من الجزء الأسفل للمتوافقة. وبالمقارنة فلا يمثل الأوليفين عند قمة هذه الجذة المتوافقة سوى 1 % من الكتلة الصخرية. وبالمقابل فان أخف مجموعة من هذه المعادن هو البلاجيوكليس الذى يطفو فى اتجاه القمة ويكون حوالى الثلثين من الجزء العلوى للجذة المتوافقة. وتهم جذة الباليسيدس المتوافقة الجيولوجيين كثيرا لأنها تؤكد النتائج المتحصل عليها فى المعمل حيث لا يمكن محاكاة ما يحدث فى الطبيعة الا بصورة تقريبية.

وتشبه الجذة المتوافقة الى حد كبير الالة المدفونة فى خصائصها. فكلاهما مسطح ويظهر مفاصل عمودية (شكل 3 - 18). وبالإضافة الى كون الجذة المتوافقة تتصلب قرب السطح وأنها قليلة السمك، فان الصهير الذى تحتويه يتجمد بسرعة لينتج نسيجاً دقيق البلورات. وعند محاولة استقصاء التاريخ الجيولوجى لمنطقة ما، فانه يستحسن التفريق بين الجذد المتوافقة والطفوح المطمورة. وبعد فحص هذين التركيبين مليا فانه يمكن بسهولة التفريق بينهما. فعادة ما يحتوى السطح العلوى للطفح المطمور على فراغات ناتجة عن تسرب الغازات كما أن علامات التحول لا تظهر الا فى

أن بعضها يتكون من الدايوريت. فعادة ما يتكون الباثوليث ذو الأحجام الصغيرة كليا من نوع واحد من الصخور. ولقد تبين من دراسة الباثوليث ذات الأحجام الكبيرة أنها تنتج عن عدة مراحل متميزة عبر ملايين السنين. فمثلا يسود الاعتقاد بأن النشاط البلوتوني الذي أدى الى تكون باثوليث صحراء نيفادا الأمريكية قد حدث خلال خمسة مراحل عبر فترة تصل الى حوالى 130 مليون سنة، والتي انتهت حوالى 80 مليون سنة خلت (شكل 3 - 20).

كيلومترا مربعا لكى يطلق عليها اسم باثوليث. أما البلوتونات التى هى أصغر من 80 كيلومترا مربعا فتسمى جذعا. ويبدو أن كثيرا من الجذوع هى عبارة عن باثوليث لم تظهرها بالكامل عوامل التعرية. ويعتقد بأن أنواعا أخرى من الجذوع تشكل أحجاما باثوليثية صغيرة انفصلت عن جسم الصهير الأصيل وتكونت بعيدا عنه.

ويتركب الباثوليث عادة من أنواع الصخور التى يقترب تركيبها الكيميائى من تركيب الجرانيت. هذا بالإضافة الى



شكل 3 - 18

أحد المواقع بولاية كاليفورنيا، وهو يصور الفواصل العمودية والأعمدة الناتجة عنها. تنتج هذه الأعمدة ذات الخمس الى سبع جوانب من التقلص الذى يحدث عند تبريد طبقة رقيقة نوعا من الصخور المنصهرة.

وكثيرا ما يوجد الباثوليث في لب الجبال حيث أزاحت عمليات الرفع والتعرية الصخور العلوية كاشفة بذلك جسم الصخور النارية الصلب. وبعض القمم المرتفعة مثل جبل وتنى بسلسلة جبال صحراء نيفادا هي منحوتة من كتلة صخور الجرانيت. كما تظهر مساحات شاسعة لصخور الجرانيت في المناطق الداخلية المستقرة للكتل القارية مثل الدرع الكندي في أمريكا الشمالية. ويعتقد بأن هذه البروزات المنبسطة هي عبارة عن بقايا لجبال قديمة قد طرحت بواسطة التعرية منذ وقت مضى. ولهذا فإن الصخور التي تكون الباثوليث في سلسلة الجبال الحديثة قد تصلبت قرب قمة غرفة الصهير، أما ما يوجد في مناطق الدروع فهو عبارة عن جذور الجبال المندثرة ومكونات الجزء الأسفل للباثوليث. وسوف نبحث دور النشاط الناري وعلاقته ببناء الجبال في الفصل الثامن عشر.

توضع الباثوليث

ان أحدث المناقشات القائمة والمهمة في الجيولوجيا تتعلق بمنشأ باثوليث الجرانيت. فهناك فريق من الجيولوجيين يؤيد الفكرة التي تقول بأن الباثوليث ينشأ من الصهير الصاعد الى أعلى من أعماق سحيقة. وتعرض هذه الفكرة مشكلة المكان. فما هو مصير الصخور التي كانت أصلا في الموضع الذي حلت به كتل الصخور المكونة للباثوليث؟ هذا بالإضافة الى أن هناك صعوبة في شرح الكيفية التي استطاع بها الصهير اقتحام طريقه عبر عدة كيلومترات من الصخور الصلبة. أما الفريق الذي يعارض فكرة الأصل الصهيري للباثوليث فقد اقترح بأن الجرانيت في الباثوليث ينشأ عندما تصعد السوائل الساخنة الغنية بالأيونات وكذلك الغازات عبر الصخور وتعمل على تغيير تركيبه الكيميائي. وتسمى عملية تغير الصخور المحيطة الى جرانيت بعملية التجزئة. ومما لا شك فيه أن عملية التجزئة هي مسئولة عن نشأة كميات قليلة من صخور الجرانيت الا أن هناك أدلة قاطعة تشير الى نشأة الجزء الأكبر من الصخور المقتحمة من أصل صهيري.



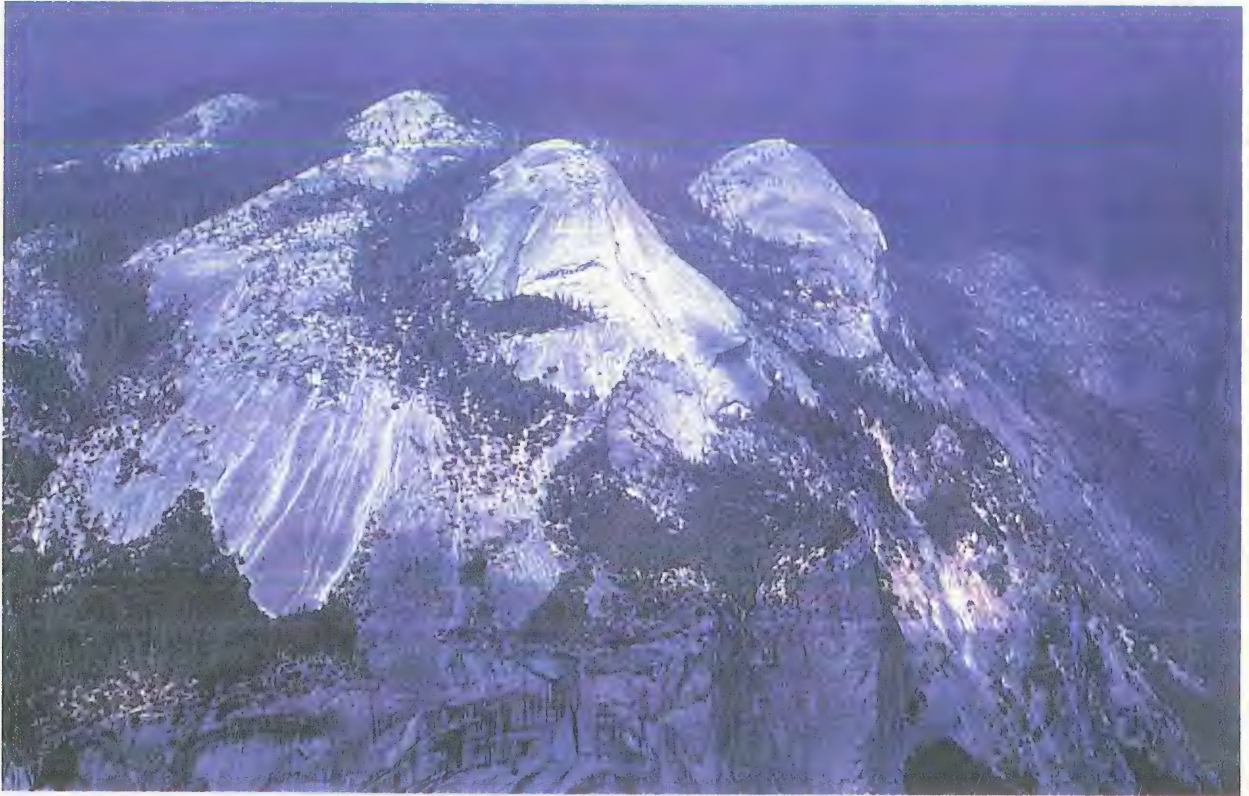
شكل 3 - 19

مواقع الباثوليث الجرانيتية التي توجد على امتداد الحافة الغربية لقارة أمريكا الشمالية. فقد استقرت هذه الكتل الضخمة ذات الاستطالة في موقعها خلال المائة مليون سنة الماضية من التاريخ الجيولوجي.

الطبقة. وبينما يصعد الملح ببطء الى أعلى فان الضغط المؤثر على الطبقات التى تعلوه، يسبب حركة هذه الطبقات وازاحتها جانبا. كما أن بعض الرواسب المزاحة تهبط الى أسفل لتحل محل الملح الصاعد الى أعلى كما يظهر فى شكل (3- 21 أ). وفى بعض الحالات يخترق الملح سطح الأرض حيث يبدأ الاندفاع الى الخارج فيما يشبه حركة اللابة البركانية غليظة القوام.

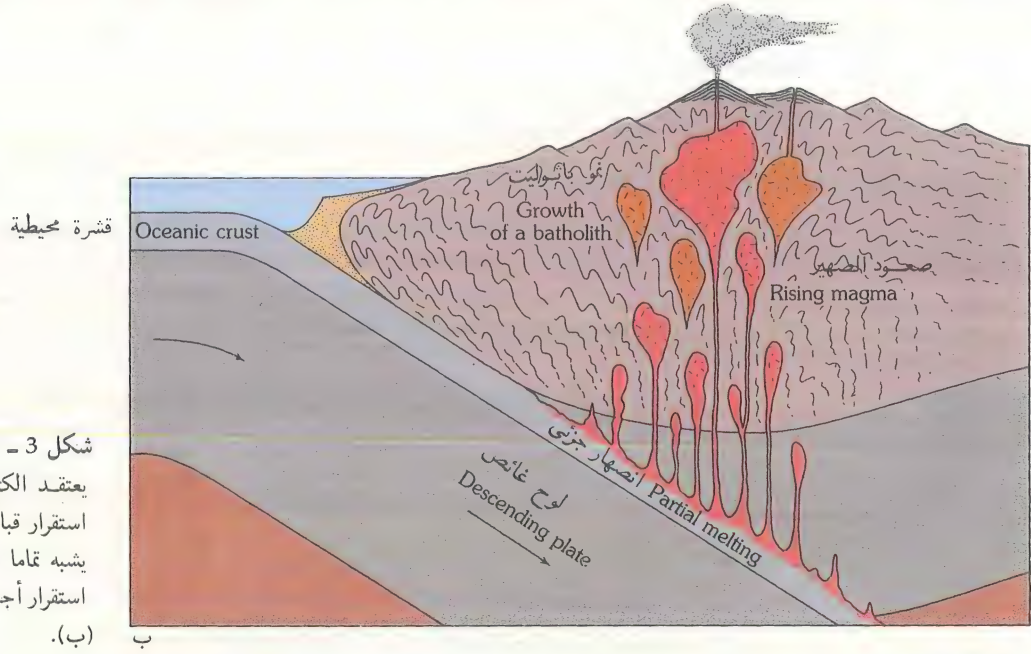
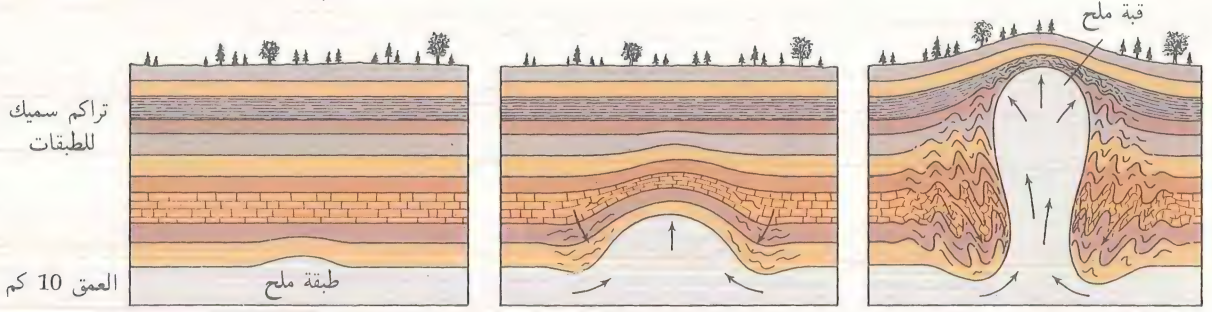
ومن المقبول جيولوجيا الآن اعتبار أن الباثوليث يتكون بطريقة تشبه تلك التى تتكون بها قباب الملح (شكل 3- 21 ب). وبما أن الصهير هو أقل كثافة من الصخور التى فوقه فان طفوفته تحركه الى أعلى. وكما فى قباب الملح فان الصهير يوفر المكان اللازم لحجمه بازاحة الطبقات المحيطة

وقد أمكن حل هذا الخلاف من وجهة نظر البعض على الأقل، عندما أجريت دراسات دقيقة على تركيبات قباب الملح. وهذه التركيبات الملحية أهمية بالغة حيث أنها توجد مصاحبة لمناطق غنية بانتاجها النفطى فى الولايات الأمريكية المطلة على خليج المكسيك وفى الخليج العربى. وتشأ قباب الملح فى المناطق التى توجد بها طبقات من رواسب الملح، تغطيها آلاف الأمتار من الرواسب الأخرى. ويصعد الملح الذى تقل كثافته عن الرواسب التى فوقه ببطء الى أعلى. وبالإمكان حدوث ذلك لأن الملح يتصرف كما لو كان سائلا عندما يتعرض لضغوط متفاوتة خلال فترة زمنية طويلة ونظرا لأن طبقات الملح ليست منتظمة تماما فانه يعتقد بأن منطقة الصعود الى أعلى تبدأ عند نقطة فى أعلى



شكل 3 - 20

صحراء نيفادا، فى منتزه اليوسيميتى الوطنى هما عبارة عن اثنين فقط من عدة تراكيب مقبية الشكل تشكل فى مجموعها باثوليث صحراء نيفادا.



شكل 3 - 21

يعتقد الكثير من الجيولوجيين بأن استقرار قباب الملح في موقعها (أ) يشبه تماما العمليات التي يتم بها استقرار أجسام كبيرة من الصهير (ب).

ويحتوى الجزء العلوى من الباثوليث عادة على بقايا لم تنصهر من الصخور المجاورة تسمى الدخيلة. وتشير هذه الضمائن الى أن هناك عملية أخرى تتم خلال تواضع الباثوليث في المنطقة القريبة من السطح حيث تكون الصخور هشة. فعندما يطفو الصهير الى أعلى، يعتقد بأن الضغط يسبب عدة شقوق في الصخور العلوية. ويكون الصهير المقذوف من القوة بحيث يفصل كتلا من الصخور المجاورة ويغرسها في جسم الصهير، غير أن عملية ابتلاع وهضم الصخور المجاورة هذه تعتبر بسيطة إذا ما قورنت بنشاط رفع وإزاحة الصخور المجاورة التي ذكرت آنفا.

به. وبينما يتحرك الصهير الى أعلى فإن بعض الصخور المجاورة والتي تقع على الجوانب سوف تهوى في المكان الذى يتركه الصهير عند صعوده. وتحدث حالة مشابهة لذلك عندما تترك علبه من الطلاء الزيتى مخزنة لمدة طويلة، فحيث أن الزيت هو أقل كثافة من الطلاء الذى يحتويه فإن قطرات الزيت تتجمع وتصعد الى أعلى بينما يبقى الطلاء الثقيل في القاع. وفي حالة صعود الصهير الجرانيتى، فانه ينتج عن التبريد التدريجى التوقف عن الحركة. وبذلك يتبلر معظم الصهير في الأعماق مكونا باثوليث جرانيتى بدلا من خروجه عند السطح على هيئة تفجرات بركانية.

أسئلة

للمراجعة :

1 - كيف تختلف اللابة البركانية عن الصهير؟

2 - كيف يؤثر معدل التبريد على عملية التبلر؟

3 - بالإضافة الى معدل التبريد، ما هي العوامل الأخرى التي تؤثر في عملية لتبلر؟

4 - يبنى تصنيف الصخور النارية أساسا على صفتين. أذكرهما.

5 - تتعلق الجمل الآتية بكلمات تصف نسيج الصخور النارية، عين الكلمة المناسبة لكل جملة :-

أ - الفتحات الناتجة عن تسرب الغازات. *صهيرات*

ب - النسيج الذي يوصف به الأسيديان. *النسيج*

ج - هلام من البلورات الدقيقة يحيط ببلورات موروثة. *نسيج متبلر*

د - بلورات صغيرة جدا لا يمكن رؤيتها بالعين المجردة. *نسيج دقيق*

هـ - نسيج يتصف بحجمين مختلفين من البلورات. *نسيج*

و - حبيبات خشنة تمثل بلورات متساوية تقريبا في الحجم. *نسيج خشن*

6 - علام يدل النسيج المتباين في الصخور النارية؟

7 - ما هو التبلر التجزئي؟ كيف يقود التبلر التجزئي الى تكوين أنواع متعددة من

الصخور النارية من صهير واحد؟

8 - اربط بين تصنيف الصخور النارية وتتابع تفاعلات بووين.

9 - فيم يختلف صخر الجرانيت عن صخر الرايوليت؟ وفيم يتشابهان؟

10 - لماذا تكون بلورات البغائيت كبيرة الحجم؟ *لأنها تتكون في ظروف بطيئة*

11 - عدد أوجه الشبه وأوجه الاختلاف بين كل زوج من الصخور الآتية :-

أ - الجرانيت والدايوريت. *الدايوريت - حبيبات دقيقة - الجرانيت - حبيبات خشنة*

ب - البازلت والجابرو. *البازلت - حبيبات دقيقة - الجابرو - حبيبات خشنة*

ج - الأنديسيت والرايوليت. *الرايوليت - حبيبات دقيقة - الأنديسيت - حبيبات خشنة*

12 - في أي شيء تختلف كل من التوفة والبريشة البركانية عن الصخور البركانية

الأخرى مثل الجرانيت والبازلت؟ *تختلف في التركيب المعدني*

13 - بماذا يسمى البلوتون المسطح القاطع للطبقات؟ *قناة*

14 - لماذا يمكن اكتشاف وجود اللاكوليث عند سطح الأرض قبل أن تظهرها عوامل

التعرية؟ *لأنه تظهر الهضبات التي توشح بقوسه فوق*

الباثوليث

- 15 - ما هو المصطلح الذي يطلق على أكبر بلوتون؟ هل هي مسطحة أم كتلية وهل هي متوافقة أم قاطعة للصخور المحيطة بها؟
- 16 - أربط بين كيفية توضع الباثوليث وكيفية تكون قباب الملح؟

الكلمات الدالة :

lava	لايه	batholith	الباثوليث
xenolith	دخيلة	crystallization	التبلر
glass	زجاج	sill	المتوافقة
massive	سميكة	dike	القاطعة
magma	صهير	volcanic	بركاني
vesicle	فقاعة	pegmatite	بغمائث
groundmass	كتلة أساسية	phenocryst	بلورة موروثية
laccolith	لاكوليث	pluton	(بلوثة)
concordant	متوافقة	plutonic	بلوتون
tabular	مسطح	porphyry	بلوتوني
intrusive	مقتحمة	Bowen's reaction series	تتابع تفاعلات بووين
extrusive	ناطقة	fractional crystallization	تبلر تجزئي
phaneritic texture	نسيج خشن	stock	جذع
aphanetic texture	نسيج دقيق	granitization	جرنتة
glassy texture	نسيج زجاجي		
pyroclastic texture	نسيج فلذ بركاني		
porphyritic texture	نسيج متباين		

4



النشاط البركاني

4



طبيعة النشاط البركاني

المواد التي تخرجها البراكين عند الفوران

- طفوح اللابة

- الغازات

- المواد الفلذبركانية

البراكين والفوران البركاني

- البراكين المدرعة

- مخروطات الرماد

- المخروطات المركبة

- الكالديرا

- الرقاب والأنابيب البركانية

قارة أطلانتس المفقودة

البراكين والمناخ

فوران الشروخ ورواسب الطفوح الفلذبركانية

التبركن وحركية الألواح

- نشأة الصهير

- توزيع النشاط الناري

أكثر من 2900 متر أصبح في لحظة قصيرة لا يزيد ارتفاعه عن 410 مترا تقريبا.

وقد دمر الانفجار الأول مساحات واسعة من أراضي الغابات الغنية بالأشجار في الجانب الشبالي من الجبل. إذ طرحت الأشجار وتشابكت على مساحة تبلغ 400 كيلومتر مربع، وجردت من فروعها وبدت من الجو كما لو كانت حزمة من العيدان اليابسة. وقد تسببت القوة الساحقة في وقوع أشجار تبعد مسافة 25 كيلومترا من الموقع. أما الغازات والرماد التي انطلقت من البركان فقد بلغت درجة حرارتها 800°م. كما بلغت الخسائر البشرية 36 قتيلًا و 23 مفقودًا، ومات البعض من الحرارة الشديدة والغازات الخانقة. وآخرون فارقوا الحياة كنتيجة مباشرة للانفجار العنيف والبعض الآخر حاصرتهم سيول الحمم والطين المحملة بالفلذ البركانية. كما نقل الانفجار والانهارات الجبلية المصاحبة له، الرماد والأشجار والصخور المشبعة بالمياه، مسافة 29 كيلومترا الى اسفل نهر توتل. وقد أصبح النهر تيارا محملا بالطين ووصل ارتفاع الماء فيه حوالى 60 مترا في بعض المواقع. هذا بالاضافة الى ترسب كميات كبيرة من الركام والطين مما سبب في تكوين سد حال دون تصريف مياه بحيرة سبيريت، اذ وصل ارتفاع الماء بها 30 مترا. ولعدة أيام، كانت المياه المتجمعة وراء السد تمثل خطرا محققا لسكان المنطقة.

وقد قذف الفوران يوم 18 مايو بما مقداره 3 - 4 كيلومترات مكعبة من الرماد والفلذ البركانية. وللمقارنة فان هذه الكمية تساوى تقريبا كمية الرماد التي دفنت مدينة بومبي الإيطالية خلال الفوران التاريخي لجبل فيسوفيس سنة 79 قبل الميلاد.

وبعد الانفجار المدمر، استمر جبل سانت هيلينز في اخراج كميات ضخمة من الغازات الساخنة والرماد. وخلال دقائق من بداية الانفجار، ارتفعت سحابة سوداء من البركان. وكانت قوة الانفجار عنيفة لدرجة أنها أوصلت بعض الرماد الى طبقات الجو العليا عند ارتفاع زاد على 18,000 متر فوق الأرض. وخلال الساعات والأيام التالية،

عند الساعة 8:32 من يوم الأحد 18 مايو 1980، حدث ثوران بركاني، يعتبر من أكبر براكين أمريكا الشمالية في العصر الحديث، مما حوّل المخروط البركاني القديم الى بقايا مبتورة (شكل 4 - 1). ففي ذلك التاريخ، في الجنوب الغربى لولاية واشنطن بأمريكا، ثار بركان جبل سانت هيلينز بقوة تفوق قوة مئات القنابل الذرية التي ألقيت على اليابان خلال الحرب العالمية الثانية. وقد دمر الفوران كل « الظلفة » الشمالية للجبل تاركا حفرة غائرة. وهذا البركان، والذي كان من قبل جبلا بركانيا معروفا يصل ارتفاعه الى

المنطقة المجاورة لجبل سانت هيلينز ويظهر جبل رينير في الأفق.

والأحداث التي أدت الى انفجار يوم 18 مايو، كانت قد بدأت حوالى شهرين قبل ذلك. ففي يوم عشرين مارس كانت هناك هزات أرضية خفيفة متتالية مركزة تحت الجبل. وقد جاء أول دليل على هذا النشاط يوم 27 مارس، عندما ارتفعت كمية قليلة من الرماد والبخار من قمته. وكذلك خلال الأسابيع التالية عندما حدثت فورانات مختلفة القوة بين الحين والآخر.

وقبل الفوران الرئيسى كان التخوف من المخاطر الكامنة التي ربما تنشأ عن فيضانات الوحل. فالكتل المتحركة من

انتقلت هذه المواد الدقيقة الى مسافات كبيرة بواسطة الرياح القوية العالية. وقد سجلت كميات متراكمة في مناطق بعيدة مثل أوكلاهوما ومينيسوتا وفي نفس الوقت بلغ سمك الرماد المتساقط في المناطق المجاورة للجبل ما يزيد على مترين. وقد كان الجو فوق مدينة ياكما بولاية واشنطن 130 كيلومترا الى الشرق، محملا بالرماد لدرجة أن سكان تلك المنطقة قد أحاط بهم ظلام دامس في وقت الظهيرة. وقد سبب البركان فسادا للمحاصيل الزراعية في مناطق بعيدة مثل وسط ولاية مونتانا.

شكل 4 - 1

صورتان لجبل سانت هيلينز، أحدهما سابقة للتغير الذى حدث له بسبب انفجار البركان يوم 18 من شهر الماء (مايو) 1980 ، والأخرى لاحقة له.



الموجات الاهتزازية قد تناقصت خلال اليومين السابقين للانفجار.

ولذلك لم يسبق أى تحذير لبداية الانفجار وخروج الكميات الكبيرة من الغازات المحبوسة. وقد جاء الانفجار نتيجة لهزة أرضية قوتها 5.1 على مقياس ريختر، مما تسبب في انهيار الجزء الشمالى من المخروط البركانى الى مجرى نهر التوتل. وبذلك انزاح الثقل الذى كان يحبس الصهير تحته (شكل 4 - 3). ومن المعتقد أنه بعد انخفاض الضغط انفجر الصهير الغنى ببخار الماء كما ينفلق القدر الكاتم.

الفتات المشبع بالمياه كانت قد نشأت عن ذوبان الثلج والجليد بواسطة حرارة الصهير داخل البركان. وقد كانت الاشارة الوحيدة لكارثة متوقعة قد دلّ عليها انبعاج على الضفة الشمالية للبركان. وقد أكدت الملاحظة الدقيقة لهذا الشكل المقرب أن نموه بطيء ولكنه مستمر بمعدل يصل الى بضعة أمتار كل يوم. وقد كان الجيولوجيون المراقبون للنشاط البركانى يعتقدون بأن أى تغير ملحوظ فى معدل نمو الانبعاج ينذر بوقوع انفجار لاحق. ولسوء الحظ لم يلاحظ أى تغير يذكر عما كان يحدث يوميا قبل الانفجار. وفى الحقيقة فان





شكل 4 - 2

غابة وسيارة خدمات السرود 12
كيلومترا شمال غرب جبل سانت
هيلينز دمرها انفجار يوم 18 من شهر
(مايو) 1980 .



شكل 4 - 3

تتابع الأحداث لانفجار جبل سانت هيلينز يوم 18 من شهر مايو 1980 . (أ) - قبل يوم 18 من شهر مايو
عدة نوبات غطت ثلوج الشتاء وجعلت البركان يبدو غامقا. (ب) - بدأ الفوران عندما أنثرت هزة خفيفة
على الكتلة التي على المنحدر الشمالى وجعلتها تنزلق الى اسفل في اتجاه بحيرة اسبيريت. ويمكن رؤية
بعض مواد الانهيار الأرضى في أسفل الصورة.

طبيعة النشاط البركاني

ينظر الى النشاط البركاني على أنه عملية تنتج أشكالاً مخروطية بديعة تفور بشدة من أن لآخر. فبينما يكون ثوران البراكين في بعض الأحيان شديداً، إلا أن كثيراً منها قد تفور بهدوء. والعوامل التي تحدد طبيعة الفوران تشمل تركيب الصهير. ودرجة حرارته وكمية الغازات الذائبة فيه. ويؤثر العاملان الأولان في قدرة الصهير على الحركة أو في درجة اللزوجة. فكلما كانت المادة لزجة كلما زادت مقاومتها للحركة. فمثلاً الهلام هو أكثر لزوجة من الماء. ومن السهل مشاهدة أثر الحرارة على اللزوجة. والصهير الساخن مثل الهلام إذا سخن أكثر تزداد سيولته وينتج عنه حمم سائلة. ولهذا عندما تبرد الحمم فانها تفقد قدرتها على الحركة وتنتهي بالتوقف.

وحيث أن الفلق قد نشأ قرب موضع الانبعاث الواقع أسفل القمة بعدة مئات من الامتار، فان تأثير الانفجار القوي كان في اتجاه جانبي لا في اتجاه رأسى. ولو أن قوة الانفجار كانت متجهة الى أعلى لكنت نتائج الدمار أقل.

وجبل سانت هيلينز هو واحد فقط من ضمن 15 بركانا كبيرا وعدة براكين صغيرة أخرى تمتد من جنوب غرب كندا الى شمال كاليفورنيا في غرب الولايات المتحدة. ومن بين البراكين الكبيرة ثمانية كانت نشطة خلال القرون القليلة الماضية، فقد فار بركان جبل سانت هيلينز آخر فورة له سنة 1857. ومن بين السبع براكين النشطة الباقية، جبل بايكر وجبل شاستا، وقمة لاش، وجبل راينير وقد تفور ثانية في أى لحظة. ويأمل الجيولوجيون أن يكون ثوران جبل هيلينز قد زودهم بمعلومات كافية تجعلهم قادرين على تقييم المخاطر المتوقعة لثوران البراكين مستقبلاً.



(ج) - خلال فورات معدودة بدأت سحابة الرماد تمتد الى اعلى (المواد الغامقة) ولكن بقوة جانبية أكبر (المواد الفاتحة).

(د) - انطلق الانفجار الجانبي بشدة مدمراً تقريباً كل كائن حي ساء الحظ تواجد في طريقه.

جدول 4 - 1

التفاوت في خواص أنواع الصهير
باختلاف التركيب المعدني لكل نوع

الخاصية	بازلتية	أنديسيتية	جرانيتية
محتوى السليكا	أقل من حوالي 50 %	متوسط حوالي 60 %	أكثر من حوالي 70 %
المعادن الشائعة	فلسبار الكالسيوم بيروكسين أوليفين	فلسبار الصوديوم أمفيبول بيروكسين مايكا	فلسبار البوتاسيوم كوارتز مايكا أمفيبول
اللزوجة	أقل	متوسطة	أعلى
القابلية لتكوين لابة	أعلى	متوسطة	أقل
القابلية لتكوين فلذ بركانية	أقل	متوسط	أعلى
الكثافة	أعلى	متوسط	أقل
درجة الانصهار	أعلى	متوسط	أقل

وتؤثر الغازات التي يحتوي عليها الصهير في حركته. فتعمل على زيادة سيولته. والأهم من ذلك هو أن الغازات المتصاعدة تعطي الصخور المنصهرة التي تمر خلالها القدرة على الاندفاع من فوهات البراكين. وعندما يصل الصهير قرب سطح الأرض، كما هو الحال في المناطق التي توجد بها براكين، ينخفض الضغط المحبوس في الجزء العلوي من الصهير انخفاضاً ملحوظاً. وهذا الانخفاض في الضغط المحبوس يسمح للغازات التي كانت قد ذابت في أعماق كبيرة بالتححر المفاجيء. فعند درجة حرارة 1000° م وتحت ضغط منخفض قرب الضغط السطحي، سوف تتمدد هذه الغازات لتشغل حجماً يبلغ مئات المرات من حجمها الأصلي. ويسمح الصهير البازلتي شديد السيولة للغازات المتعددة بالصعود إلى أعلى والهروب من الفوهة بسهولة بالغة. وعند هروب هذه الغازات فإنها قد تحمل معها اللابة المشتعلة. مئات الأمتار في الهواء محدثة بذلك نافورات من اللابة. ورغم روعة منظر هذه النافورات فإنها لا تكون مصاحبة لانفجارات هائلة مثل تلك التي تسبب خسارة كبيرة في الأرواح والممتلكات. ويعد هذا النوع من الفوران البازلتي

هذا وقد تمت مناقشة التركيب الكيميائي للصهير في الفصل الثالث من هذا الكتاب، عند دراسة تسمية الصخور النارية. وأخذ الفروق الهامة بين مختلف أنواع الصخور النارية أي بين الصهير الذي نتجت عنه ألا وهو محتواها من السليكا س² (جدول 4 - 1). فالصهير المنتج للصخور البازلتية يحتوي على حوالي 50 % من السليكا، بينما تحتوي الصخور الجرانيتية (الجرانيت ومقابله الناباط، الرايوليت) على 70 % من السليكا فأكثر. أما الصخور متوسطة التركيب، مثل الأنديسيت والدايوريت، فتحتوي على 60 % من السليكا تقريباً. ومن المهم ملاحظة أن لزوجة الصهير تعكس محتواه من السليكا. ففي الغالب، كلما زادت نسبة السليكا في الصهير كلما زادت لزوجته. ويعتقد بأن ذلك يعوق جريان الصهير لأن السليكا تتحد لتكوّن عقوداً طويلة حتى قبل بداية التبلر. ونتيجة لذلك فإن قلة محتوى السليكا في الحمم البازلتية يجعلها تميل إلى السيولة بينما تكون الحمم التي تحتوي على الرايوليت لزجة وغير قادرة على الجريان لمسافة كبيرة حتى عند درجات الحرارة المتوسطة (شكل 4 - 4).

الانفجار. ولهذا فان أى انفجار لفوهة بركانية يتبعه عادة تدفق هادىء للابة الخالية من الغازات. ولكن عندما يتوقف تدفق الابة تبدأ عملية تجمع الغازات وضغطها من جديد. وهذا الفرق الزمنى قد يفسر جزئيا النظام المتقطع لفوران البراكين التى تقذف بالابة اللزجة.

وباختصار، فقد عرفنا أن كمية الغازات الذائبة، وكذلك مدى السهولة التى تهرب بها هذه الغازات، هما المسئولان لدرجة كبيرة على طبيعة الفوران البركانى. ونستطيع أن نفهم الآن لماذا تعتبر براكين هاواى هادئة نسبيا، بينما تعتبر البراكين المطلة على المحيط الهادى من النوع الانفجارى، وتشكل خطرا محدقا بالأرواح، حيث أن هذه الأخيرة تحتوى على كميات ضخمة من الغازات وتقذف بابة لزجة.

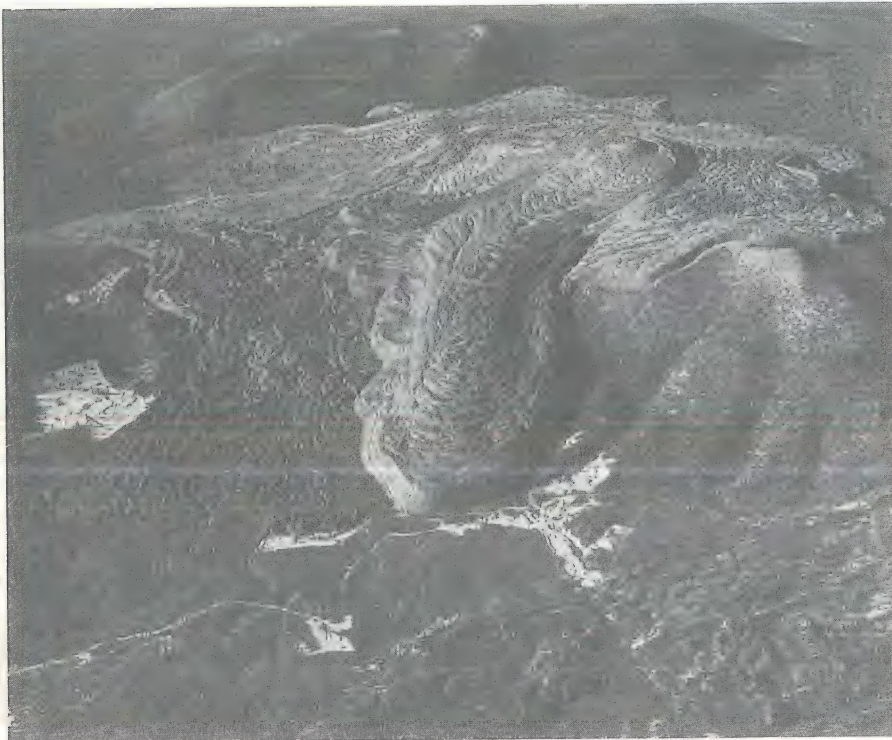
المواد التى تخرجها البراكين عند الفوران

يعتقد الكثير من الناس بأن البراكين لا تقذف أساسا الا الابة. ولكن هذا غير صحيح فى أغلب الأحيان حيث

السائل، مثل الذى يحدث فى هاواى، من النوع الهادىء نسبيا.

وعلى النقيض من ذلك، فان الصهير على اللزوجة يمنع صعود الغازات الى أعلى، ونتيجة لذلك تتجمع الغازات على هيئة فقائيع وجيوب يزداد حجمها وضغطها حتى يتم قذف الصخور الشبه منصهرة من فوهة البركان بانفجار شديد.

وبعد أن يقذف الصهير الذى فى أعلى الفوهة، يتسبب انخفاض الضغط فى الصخور المنصهرة أسفله فى قذفها الى أعلى. ولهذا فان الفوران البركانى بدلا من أن يكون فورة واحدة تجده عبارة عن سلسلة من الفورات المتعاقبة وقد تستمر هذه العملية حتى تفرغ غرفة الصهير تماما، مثلما تفرغ الحمة الساخنة ماءها (أنظر الفصل العاشر). وقد لا يكون ذلك صحيحا، لأن الغازات الذائبة فى الصهير اللزج تصعد الى أعلى ببطء شديد. ولهذا فانه فى الجزء العلوى فقط من الصهير تتجمع الغازات ليصل ضغطها الى مستوى



شكل 4 - 4

منظر جوى لجبل بيق قلاس (الزجاج الكبير) بشمال كاليفورنيا. هنا تدفقت الابة ذات المحتوى العالى من السليكا على هيئة كتل لزجة من معدن الأبيديان (الزجاج الطبيعى) والرايوليت. وقد كانت طفوح الابة هذه سميقة جدا. (لاحظ صورة الطريق كمقياس رسم).



ب

شكل 4 - 5

(أ) - طفح لابة من نوع باهو، ذات الحبال ببركان كيلأؤا، هاواي.

(ب) - طفح نموذجي من نوع الآه آه.

باريكوتين، وردمت مدينة سان وان بارنجاريكو تيرو، كانت من نوع الآه آه (أنظر شكل 4-12). وفي بعض الحالات لا تتعدى حركة أحد طفوح باريكوتين سوى متر فقط في اليوم. ولكنها استمرت تتقدم يوما وتتوقف يوما لمدة ثلاثة أشهر. فعادة ما تحتوى الطفوح المتصلبة على انفلاق كانت في يوم ما ممرات أفقية لنقل اللابة من الفوهة الى حافة الطفح.

أن الفوران الانفجاري للبراكين يقذف بكميات هائلة من قطع الصخور وقنابل اللابة والرماد والغبار البركاني، والتي لا تقل وفرة عن اللابة. وعلاوة على ذلك ينبعث من جميع البراكين كميات كبيرة من الغازات التي تختلط في الهواء الجوى. وفي هذا الجزء سوف نفحص هذه المواد المصاحبة لفوران البراكين.

طفوح اللابة

نظرا لقلة السليكا في اللابة البازلتية فهي عادة ما تكون كثيرة السيولة، حيث تتدفق على هيئة ملاءات رقيقة وعريضة أو على هيئة ألسنة. ففي جزيرة هاواي بلغت سرعة جريان اللابة 30 كيلومترا في الساعة، فوق السفوح شديدة الانحدار. ونادرا ما يصل جريان اللابة الى هذه السرعة غير أن المعدلات السائدة تتراوح بين 10 و 300 متر في الساعة. هذا بالإضافة الى أن الطفوح البازلتية قد تسيل الى مسافة 150 كيلومترا قبل أن تتصلب. وبالمقابل فان حركة جريان اللابة الغنية بالسليكا عادة ما تكون بطيئة لدرجة لا يمكن ملاحظتها.

وعندما تبرد اللابة البازلتية السائلة من النوع الهاواي وتبتلر فانها تكون سطحا أملسا ترتسم فوقه تجاعيد كلما استمرت اللابة في التقدم (شكل 4 - 5 أ). ونظرا لمظهرها الذى يشبه صفائر الحبال المفتولة، فقد أطلق عليها باهو هو أى اللابة «ذات الحبال». أما اللابة بطيئة الحركة فلها سطح ذو أسنان حادة (شكل 4 - 5 ب) ويسمونها لابة الآه آه. وتتصف طفوح الآه آه بأنها أقل حرارة وأكثر كثافة وتتقدم بمعدل سرعة يتراوح بين 5 و 50 مترا في الساعة وذلك حسب درجة الانحدار. هذا بالإضافة الى أن الغازات الهاربة تحدث شقوقا في السطح البارد وترك عددا من الفراغات والتواءات الحادة في اللابة المتصلبة. وعندما يتقدم الجزء الداخلى السائل فان القشرة الخارجية تتشقق أكثر مصبغة على الجريان مظهر كتلة زاحفة من فئات اللابة.

فالحمم التي سالت من البركان المكسيكى المشهور

الغازات المتصاعدة تحتوى على 70% من بخار الماء و 15% من ثانى أكسيد الكربون و 5% من مركبات النيتروجين و 5% من مركبات الكبريت، مع كميات أقل من الكلور والهيدروجين والأرجون. وأسهل ما يمكن التعرف عليه هو الكبريت نظرا لرائحته النفاذة ولكنه يكون حامض الكبريتيك الحارق.

فبالإضافة الى كون الغازات تدفع الصهير الى فوهات البراكين فانه يعتقد بأنها مسئولة عن تشكيل الممرات الضيقة التي تصل غرفة الصهير بسطح الأرض. ففي بادىء الأمر تتصدع الصخور التي فوق جسم الصهير نتيجة للحرارة الشديدة التي تنبعث منه. ثم تعمل تيارات الغازات الساخنة ذات الضغط المرتفع على توسيع الصدوع مما يؤدي الى حدوث منافذ تصل الى السطح. وبعد اتمام هذه العملية، تعمل الغازات الساخنة المحملة بقطع الصخور على نحت جدران الممرات محدثة ممرات واسعة. ونظرا لأن هذه القوى الناحية تعمل على ازالة كل ما يعترض طريقها من نتوءات لذلك تكون القنوات البركانية الناتجة دائرية المقطع. وعند توسع الممرات يصعد الصهير الى أعلى ليصبح نشاطه فوق السطح. وعقب كل نوبة فوران تملأ القناة البركانية بالمواد التي لم تتمكن من الخروج من الفوهة. وقبل حصول فوران جديد لا بد وأن تعمل الدفعة الجديدة من الغازات المتفجرة على تنظيف الممر أمامها مرة أخرى.

المواد الفلذبركانية

عندما يخرج الصهير البازلتى فوق سطح الأرض تستطيع الغازات الذائبة أن تهرب بحرية تامة وباستمرار وكما ذكرنا أنفا فان هذه الغازات تعمل عادة على دفع فتائل مشتعلة من الحمم الى ارتفاعات شاهقة مما يشكل نافورات اللابة الخلافة. وقد تترام بعض المواد المقذوفة قرب الفوهة وتكون شكلا مخروطيا، بينما تحمل الريح القطع الصغيرة الى مسافات طويلة. وعلى النقيض من ذلك فان الغازات في الصهير اللزج تكون قدرتها على الهروب أقل، وقد تتجمع

وتوجد أنابيب اللابة هذه في داخل الطفوح حيث تبقى درجات الحرارة مرتفعة مدة أطول حتى بعد أن يتصلب السطح العلوى. وتحت هذه الظروف تستمر الحمم المنصهرة داخل القنوات في تقدمها تاركة وراءها فراغات تسمى بأنفاق اللابة. وتستطيع أنفاق اللابة هذه أن تلعب دورا مهما في السماح للابة السائلة بالتقدم مسافات كبيرة من منبعها الأصلي. أما الصخور التي تحيط بالأنفاق فتشكل طبقة عازلة ممتازة. وبذلك تبرد اللابة الجارية في الأنفاق ببطء شديد وتستطيع الحركة الى مسافات طويلة قبل أن تتصلب.

وعندما تدخل الحمم المنصهرة مياه المحيطات، أو عندما تتسكب اللابة داخل مياه المحيطات، تتصلب الأجزاء الخارجية بسرعة. أما اللابة التي داخل الطفوح فعادة ما تكون قادرة على الحركة عبر الأسطح المتصلبة. وتكرر هذه العملية عدة مرات مما يجعل الطفوح المتصلبة تكون أشكالاً طويلة تشبه الوسائد الكبيرة المتراسة واحدة فوق الأخرى. وتساعد وسائد اللابة هذه على استنباط تاريخ الأرض، لأن التعرف عليها يشير الى أنها تجمعت تحت الماء.

الغازات

يحتوى الصهير على كميات متفاوتة من الغازات الذائبة والتي تبقى داخل الصخور المنصهرة تحت تأثير الضغط المحيط مثلما يبقى ثانى أكسيد الكربون داخل المشروبات الغازية. وكما في المشروبات الغازية، تبدأ هذه الغازات في الهروب عندما ينخفض الضغط ولهذا السبب فانه يصعب تقدير كمية الغازات الأصلية في الصخور المنصهرة.

ويسود الاعتقاد بأن كمية الغازات في الصهير تتراوح بين 1 و 5 في المائة من الحجم الكلى للصهير. وقد تكون هذه النسبة ضئيلة، ولكن كمية الغاز المتصاعدة قد تزيد عن عدة آلاف من الأطنان في اليوم. ويرى العلماء بأن التركيب الكيميائى للغازات يشكل أهمية خاصة، حيث أن الطبقات الجوية المحيطة بالأرض قد تكونت من هذه الغازات. وتشير الأدلة المستمدة من النشاط البركانى بجزيرة هاواى بأن

هذه على فراغات عدة وتتكون عندما تسحق الغازات قطرات اللابة المقدوفة. أما القطع التي هي أكبر من اللايبل فتسمى كتلا عندما تحتوى على مواد اللابة المتدفقة بعد تصلبها، وتسمى قنابل اذا كانت تحتوى على الكتل المشتعلة المقدوفة في الهواء. وبما أن القنابل البركانية تكون شبه سائلة اثناء قذفها في الهواء فانها عادة ما تأخذ شكلا انسيابيا كما في شكل 4 - 6. وبحكم حجم الكتل والقنابل فانها تسقط عادة على سفوح البراكين ولكن القنابل في بعض الأحيان قد توجهها الغازات الهاربة مثل الصواريخ الى مسافات بعيدة عن منطقة البركان (شكل 4 - 7).

وقد تنتشر الحجارة البركانية الى مسافات بعيدة عن مصدرها، وعلى الأخص الغبار الدقيق الذى قد يصل الى طبقات الجو العليا ويبقى معلقا لفترات زمنية طويلة. وهناك قد يسبب في وجود مناظر رائعة لغروب الشمس كما كان في بعض الحالات سببا في انخفاض متوسط درجات الحرارة على الكرة الأرضية. وسوف نناقش الآثار المحتملة لفوران البراكين على المناخ في جزء لاحق من هذا الفصل. كما يحتوى جدول 4 - 2 على معلومات تخص كمية الفلد البركانية المقدوفة من بعض البراكين المعروفة.

البراكين والفوران البركاني

ينبى الفوران البركاني المتتابع تراكما جليا من المواد يسمى بركانا. ويقع فوق قمة عدد من البراكين منخفض منحدر الجوانب هو الفوهة التى تتصل بغرفة الصهير بواسطة أنبوب تشبه القناة أو الفتحة. وكما تم الإشارة اليه فان القناة وكذلك الفوهة ينتجان عن القوة الناحية الناشئة عن الغازات والصهير الفوار. ولبعض البراكين منخفضات كبيرة فوق قممها يزيد قطر الواحد منها عن كيلومتر وفي هذه الحالة تسمى كالديرا.

وعندما تخرج اللابة السائلة من القناة فانها تخزن في الفوهة أو الكالديرا حتى تفيض منها. وعلى العكس من ذلك فان الحمم اللزجة قد تسد الأنبوبة وتصعد ببطء أو تقذف



شكل 4 - 6

قنبلة بركانية. تكتسب قطع اللابة المقدوفة شكلا انسيابيا خلال رحلتها عبر الهواء.

على هيئة ضغط داخلى قادر على احداث فوران عنيف. وعند تحرر هذه الغازات شديدة السخونة فانها تتمدد ألف ضعف لتدفع الصخور المسحوقة واللابة من فوهة البركان. وتسمى القطع التى تنتج عن هذه العملية بالمواد الفلذبركانية. ويتراوح حجم قطع الحمم المقدوفة هذه بين الغبار الدقيق أو الرماد البركاني الذى في حجم حبات الرمل وبين الكتل والقنابل البركانية.

وتنتج حبيبات الغبار والرماد الدقيق عندما تحتوى الحمم على كثير من فقائيع الغاز الذى يشبه الرغوة المندفعة من زجاجة مشروبات غازية بعد فتحها مباشرة. وبينما تتمدد الغازات الساخنة بانفجارها تنتثر على هيئة قطع دقيقة. وعندما يهبط الرماد الساخن الى الأرض عادة ما تلتحم فتائل الزجاج المكونة له وينتج عن ذلك «التوفة الملتحمة». وفي بعض الحالات تقذف اللابة الرغوة في شكل قطع كبيرة تسمى بيوميس وهى ذات مسامات عالية، اذ تحتوى على فراغات كثيرة لدرجة أنها تطفو فوق الماء.

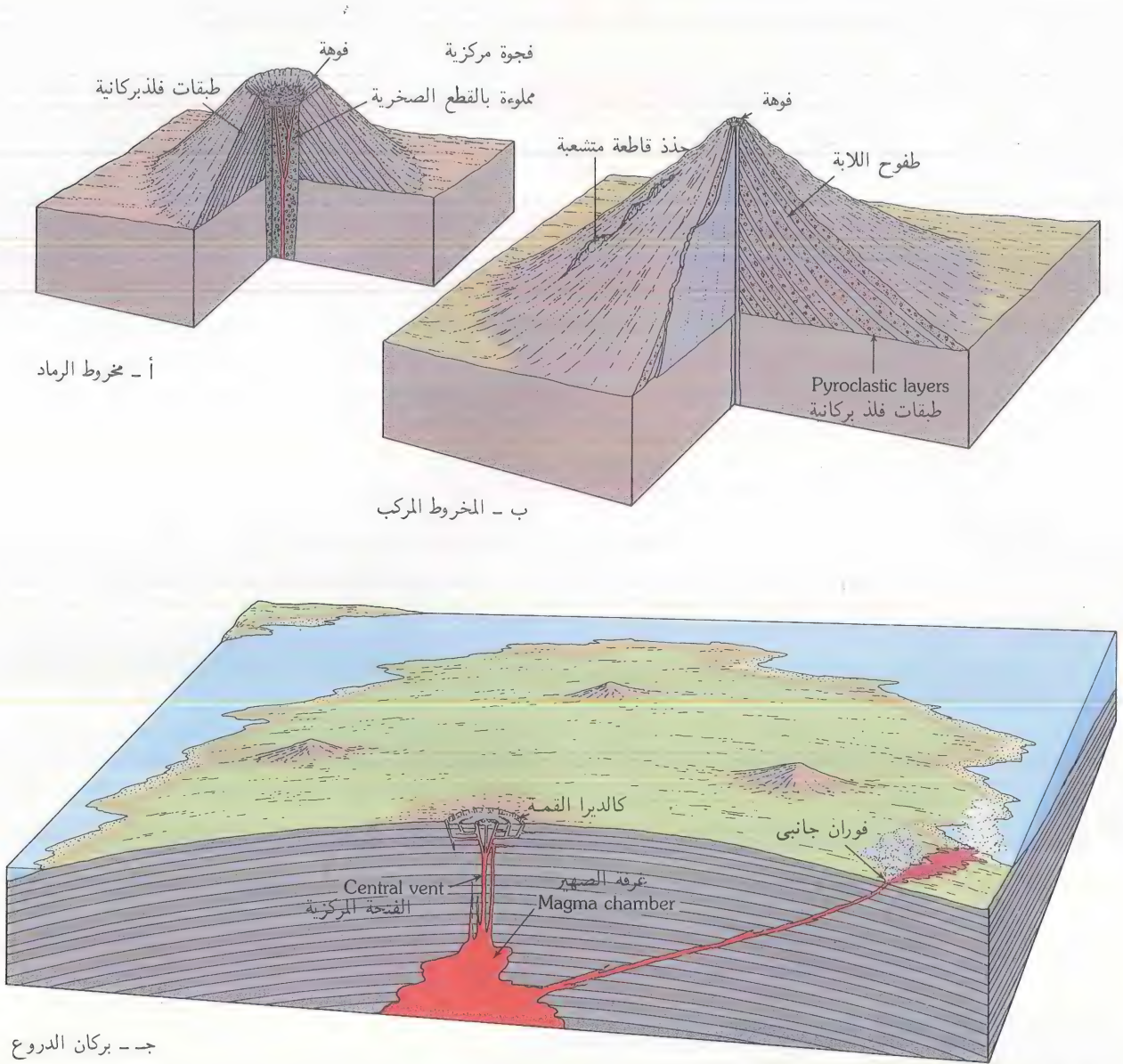
كما أن هناك فلذ بركانية مستديرة الشكل وفي حجم الجوز تسمى لايبلى (الحجارة الصغيرة) وهناك أيضا حبات في حجم البازلاء تسمى (سندرات). وتحتوى حبات الرماد



شكل 4 - 7
بركان باريكوتين في فوران أثناء الليل.

جدول 4 - 2
حجم الفتات البركاني بالتقريب، الناتج
عن بعض الفورات البركانية المعروفة.

الفتوة	الكمية الناتجة في الغالب فلذ بريشة كلم ³
تامبورا، اندونيسيا (1815)	100 - 80
كرتريك (أورجون) (قبل التاريخ)	70 - 50
كراكاتوا، أندونيسيا (1833)	18
باريكوتين، المكسيك (1943 - 52)	1.3
جبل سانت هيلينز (1980)	4
جبل فيسوفس، إيطاليا (79 ميلادية)	3
ييلوستون، وايومينج (قبل التاريخ)	2400



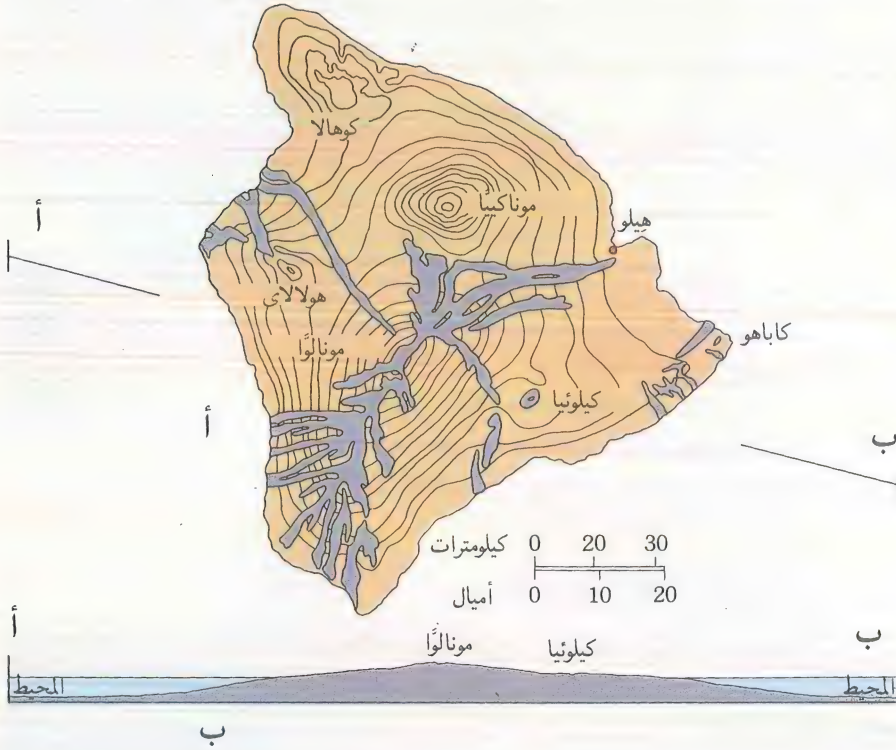
شكل 4 - 8

مقارنة بين الأنواع الأساسية الثلاثة للتركيبات البركانية

(أ) - مخروط الرماد
(ب) - المخروط المركب
(ج) - بركان الدرّوع.

مخروطاً متطفلاً. فجبل اثنا، مثلاً، يحتوي على 200 فتحة ثانوية. وبعض هذه الفتحات الثانوية تخرج غازات فقط وتستحق أن يطلق عليها اسم فيومارول (المدخنة) البركانية.

بقوة وغالباً ما تكون سبباً في توسيع الفوهة. ولكن اللابة لا تخرج دائماً من فوهة مركزية ففي بعض الحالات يجد الصهير أو الغازات الهاربة أنه من الأسهل الخروج من الشقوق على جوانب البركان. وإذا استمر الفوران الجانبي فإنه قد يبنى



شكل 4 - 9

خريطة لجزيرة هاواي.

(أ) - تتكون الجزيرة من خمس براكين

مجموعة. فرق المناسيب 300 مترا.

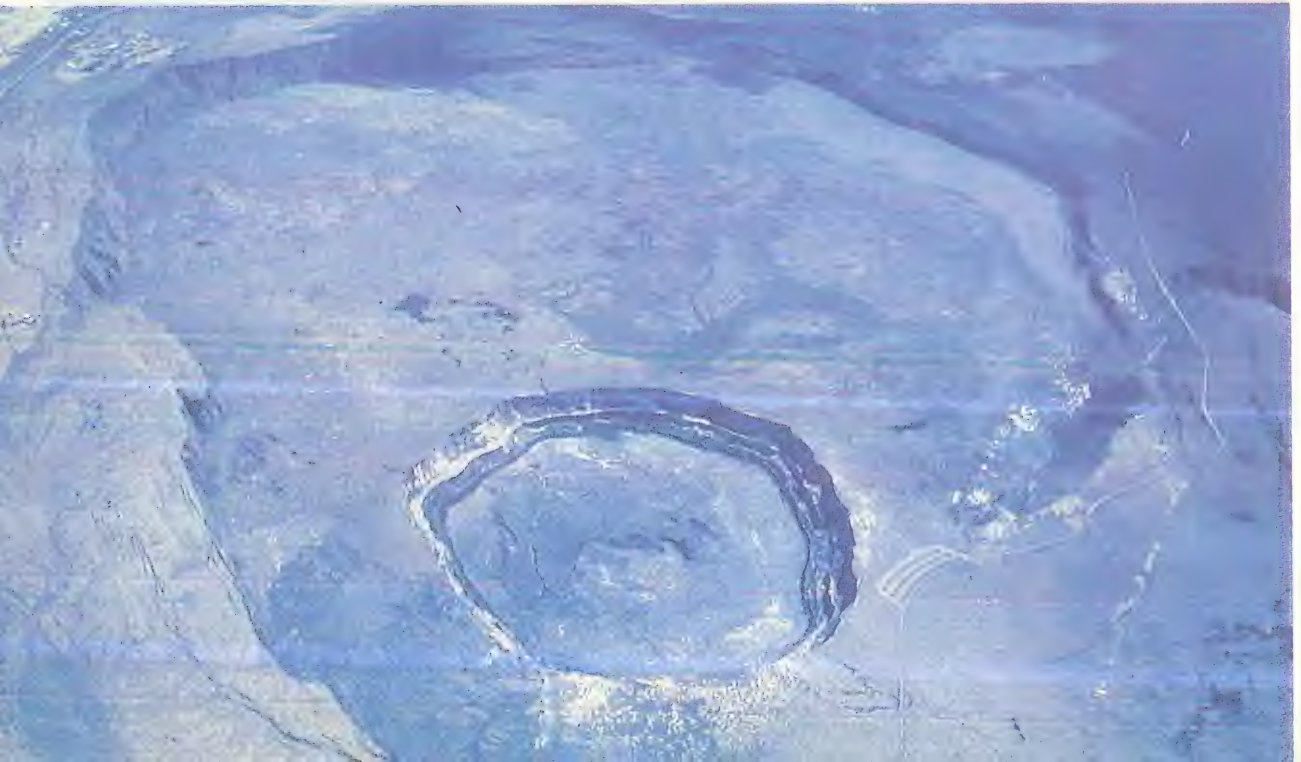
(ب) - يوضح الشكل المنحدر البسيط

الذي يميز بركان الدروع (بدون

مبالغة رأسية).

شكل 4 - 10

منظر جوي لفوهة كيلوثيا مع بركان مونا لوا في خلفية الصورة. يبلغ طول هذه الفوهة 5 كيلومترات وعرضها 2 كيلومترا. وفي داخل الفوهة يوجد منخفض يسمى حفرة النار. لاحظ الطريق الذي يعبر الفوهة كمقياس رسم.





بحيرة من اللابة دائمة الغليان يصل عمقها 400 متر، وإلى جانب كالديرا القمة هذه توجد عدة فوهات تملأ المنطقة المجاورة. وقد فار بركان كيلاؤوا أكثر من 50 مرة عبر التاريخ المكتوب. ويشهد على الطبيعة الهادئة لفوران هذه البراكين موقع مرصد بركان هاواي فوق حافة كالديرا القمة. وقبل سنتين من فوران عام 1959 - 1960، اكتشف علماء البراكين عن طريق مقياس الانحراف أن هناك انتفاخ في منطقة القمة، وتشير الرّجّات التي أحدثها صعود الصهير في اتجاه السطح أن المواد المندفعة انطلقت من عمق يتراوح بين 60 الى 100 كيلومتر تحت السطح. وبدأت هذه الصخور المنصهرة تأخذ طريقها ببطء إلى أعلى وتجمعت في مخازن صغيرة تقع بين 3 الى 5 كيلومترات تحت القمة.

وقد بدأت المرحلة الأولى لفوران عام 1959 - 1960 في شهر نوفمبر 1959 في كيلاؤوا أيكي، وهي فوهة تقع شرقي كالديرا القمة. وكانت أول حادثة فوران عبارة عن لابة تنبعث من شرخ يبلغ طوله كيلومترا واحدا على امتداد الجدار الجنوبي للفوهة. وخلال يوم واحد انحصر الفوران في فتحة واحدة حيث بلغ ارتفاع اللابة التي كانت تنبعث منها أكثر من 300 متر أحيانا (شكل 4 - 11). وقد سقطت معظم المواد المقذوفة في الفوهة مكونة بحيرة من اللابة. وكان كلما بنى الرماد مخروطا صغيرا حول الفتحة حطمت اللابة المتجمعة في الفوهة بعد امتلائها. ودامت هذه المرحلة حوالي الشهر، امتلأت خلالها الفوهة بالحمم لعمق يصل حوالي 125 مترا. وبعد هذه المرحلة مباشرة تسربت بعض هذه اللابة الملتهبة إلى الفتحة فيما يشبه الماء المنسكب في البالوعة.

استمرت الرّجّات الأرضية مدة طويلة حتى بعد توقف نشاط كيلاؤوا أيكي. وبدل النشاط الاهتزازي على أن الصهير كان لا يزال يجري تحت الأرض ولكنه اتجه إلى مواقع أخرى في جوانب البركان. وفجأة في يوم 13 يناير 1960 شوهدت تشققات في الأرض تمثل شرخا يبلغ طوله كيلومترا واحدا، قرب قرية كابوهو التي تبعد 45 كيلومترا شرقي كيلاؤوا أيكي. وهنا استمرت نافورات اللابة في التدفق ليلا ونهارا لعدة أسابيع. وخلال الأيام القليلة الأولى، تجمعت اللابة المنصهرة في شكل طفوح زحفت في اتجاه البحر الذي يبعد 5 كيلومترات عن ذلك الموقع. وحالما غشت

ونظرا لتغير الظروف المكونة للبراكين فإن جميع البراكين تختلف عن بعضها في الشكل والحجم ورغم ذلك فإن العلماء المتخصصين قد جمعوا البراكين المشابهة في طريقة فورانها في مجموعات حسب نوع نظام فورانها وشكلها المميز وعلى هذا الأساس توجد ثلاثة مجموعات من البراكين هي: البركان المدرع ومخروط الرماد والمخروط المركب (البركان ذو الأطباق) (شكل 4 - 8).

البراكين المدرعة

عندما تندفع اللابة السائلة يأخذ البركان شكلا مقببا قليلا وعريضا يسمى بالبركان المدرع (شكل 4 - 8 ج). وتتكون البراكين المدرعة أساسا من طفوح اللابة البازلتية وتحتوي على نسبة قليلة فقط من المواد الفلذبركانية. وفي العادة لا تتعدى زاوية انحدار هذه البراكين بضع درجات على الجوانب ولا تزيد عن 15° عند القمة، كما يمثل ذلك في براكين جزر هاواي ومونا لوا الذي يعد أكبر بركان على الأرض (هو واحد من خمسة براكين مدرعة تشكل مجتمعة جزيرة هاواي شكل 4 - 9). وتستقر قاعدة هذا البركان فوق قاع المحيط على عمق 5000 متر تحت سطح البحر، بينما يصل ارتفاعه 4170 مترا فوق سطح الماء. وقد تطلب بناء هذه الكومة الضخمة من الصخور البركانية حوالي المليون سنة، خلال عدة دورات من الفوران المتكرر. وقد بنيت كثير من الهياكل البركانية الأخرى بنفس الطريقة في أعماق المحيط ومن بينها جزيرة ميدواي وجزر الجالاباجوس.

ويوضح فوران عام 1959 - 1960 لبركان كيلاؤوا الدورة النموذجية للفوران الهاواي. ويقع بركان كيلاؤوا على جزيرة هاواي في الطرف الجنوبي الشرقي من بركان مونا لوا الأكبر حجما (شكل 4 - 10). أما الكالديرا التي على قمة بركان كيلاؤوا فهي عبارة عن منخفض يضاوي الشكل بعمق حوالي 100 متر، ويبلغ طولها 5 كيلومترات وعرضها 3 كيلومترات، ويقع داخل هذه الفوهة منخفض آخر أكثر عمقا يسمى هاليمايو أو حفرة النار، والتي تحتوي من وقت لآخر على

شكل 4 - 1

انفجار بركان كيلونيا - أيكي في عام 1959 وتظهر اللابة كنافورة مرتفعة فوق مستوى الفوهة.

ما تمثل مخروطات طفيلية فوق أو قرب البراكين الكبيرة. هذا بالإضافة الى كونها تتواجد في مجموعات، حيث يبدو أن هذه المخروطات تمثل المراحل الأخيرة من النشاط في منطقة الطفوح البازلتية. ويحدث هذا لأن الصهير المكون لها كان قد برد وأصبح أكثر لزوجة.

وأحد البراكين القليلة التي استطاع الجيولوجيون مشاهدة تكوينها من البداية الى النهاية هو مخروط فلنزي يدعى باريكوتين. وسوف نسرّد تاريخ هذا البركان كتوضيح لتكوّن وتركيب مخروط فلنزي نموذجي.

ففي سنة 1943، وعلى مسافة 320 كيلومترا غرب مدينة المكسيك، ولد بركان باريكوتين (أنظر شكل 3 - 1). وموقع الفوران كان حقلًا من الذرة يملكه ديونيزيو بوليديو الذي شهد مع زوجته باولا هذا الحدث، عندما كانا يجهزان الحقل للزراعة. ولدة أسبوعين قبل الفوران الأول كانت تحدث عدة هزات أرضية مما تسبب في إنزعاج سكان قرية باريكوتين، على بعد حوالي 3.5 كيلومتر. وفي يوم 20 فبراير عند الساعة الرابعة بعد الظهر بدأ يتصاعد الدخان مع رائحة الكبريت من حفرة صغيرة كانت موجودة لمدة طويلة حسب ما يتذكره ديونيزيو. وخلال الليل، كونت قطع الصخور المتوهجة عرضا رائعا من الألعاب النارية. وفي اليوم التالي وصل ارتفاع المخروط الى حوالي 40 مترا. وفي اليوم الخامس زاد ارتفاع المخروط عن 100 متر. ومنذ ذلك الوقت كانت الفورانات الانفجارية تقذف بالقطع الساخنة الى ارتفاع 1000 متر فوق حافة الفوهة. كما تساقطت القطع الكبيرة قرب المخروط وبعضها بقيت مشتعلة وهى تندرج الى أسفل المنحدر. وبنت هذه الفلذ مخروطا بديع الجمال، بينما تساقط الرماد الدقيق على مساحة أكبر حيث حرق قرية باريكوتين ثم غطاها نهائيا. وفي بحر سنتين وصل ارتفاع المخروط الى 400 متر وزاد ارتفاعه عشرات الأمتار بعد ذلك.

وجاءت أول اللابة من شق انفتح شمالى المخروط

اللابة الساخنة مياه البحر، انطلقت سحب البخار الملبدة أحيانا بحزم انفجارية من الرماد الأسود حتى وصلت الى ارتفاع عدة آلاف من الأمتار في الهواء. وفي الأيام القليلة اللاحقة انتشرت طفوح اللابة أفقيا لتحيط بمناطق الأرياف المجاورة. ولقد أقيمت السدود الأرضية لحماية قرية كابوهو ولكن دون جدوى. وخلال هذه المرحلة تم تدمير عدة مشاريع في الوقت الذي زاد فيه حجم الجزيرة حوالى نصف كيلومتر في أحد المواقع.

وصاحب نشاط كابوهو هبوط تدريجي في منطقة القمة وتحطم قاع هاليومو. وبعد حوالى ثلاثة أشهر من بداية النشاط توقفت النافورة التي قرب كابوهو معلنة بذلك نهاية هذه المرحلة من الفوران. ولكن الجيولوجيين استمروا في مراقبة هبوط الأرض وفي معاينة الصخور المنصهرة تحت قاع بحيرة اللابة في كيلاوا أيكى. ومن هذه المعلومات نصل الى فهم أوضح لنشأة جزر هاواي ولظاهرة النشاط البركانى بصفة عامة.

ومن المسلم به الآن أن المراحل الأولى لبناء البركان المدرع تتكون من فوران متكرر لطفوح رقيقة من البازلت السائل. وعندما تتراكم هذه الطفوح لتصبح تركيبا بركانيا يحدث فوران على الجوانب بالإضافة الى فوران القمة. وكثيرا ما يعقب كل مرحلة من مراحل الفوران هذه، تحطم منطقة القمة. وفي المراحل الأخيرة لنمو البركان يصبح نشاطه متقطعا وتغلب عليه مقذوفات فلذبركانية. وبالإضافة الى أن حممه تزداد لزوجة وتنتج طفوحا سميقة وقصيرة، فإن هذا النشاط يعمل على زيادة انحدار منطقة القمة. وهذا يفسر لماذا تعتبر قمة موناكيّا، الذى هو بركان قديم وخامد الى الشمال، أكبر انحدارا من بركان موناوا.

مخروطات الرماد

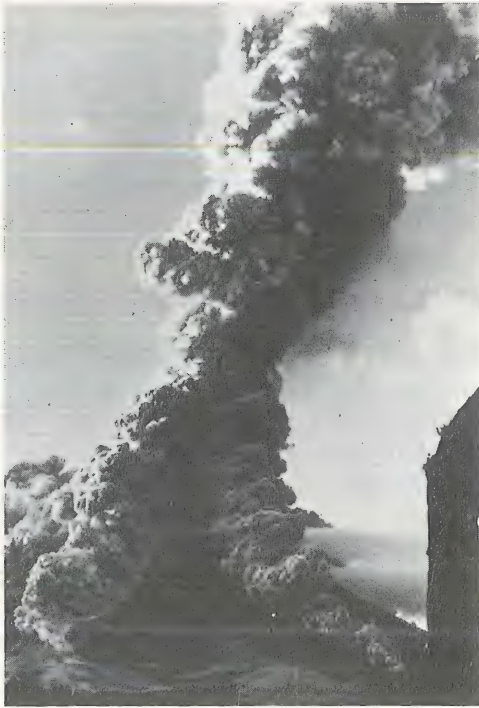
تبنى مخروطات الرماد من قطع اللابة المقذوفة، وهذا ما يدل عليه اسمها. وبما أن المواد الفلذبركانية تحافظ على زاوية سكون كبيرة (بين 30 و 40 درجة)، فإن لهذا النوع من البراكين منحدرات شديدة. وعادة ما تكون مخروطات الرماد صغيرة الحجم، اذ لا يزيد ارتفاعها عن 300 متر، وهى غالبا

معظم المواد الفلذ بركانية قرب القمة مما ينتج عنه كومة من الرماد ذات جوانب شديدة الانحدار. ومع الوقت فإن هذه الكومة سوف تغطيها اللابة. وفي بعض الحالات يتزامن هذان الحدثان. ويكون التركيب الناتج محتويا على طبقات متعاقبة من اللابة والمواد الفلذبركانية. وهناك مخروطان بلغا تكاملا ملحوظا هما جبل مايون في الفلبين وفيوجياما في اليابان، اللذان يمثلان الشكل التقليدي للبراكين ذات الطبقات التي تمتلك قمة شديدة الانحدار وجوانب طفيفة الانحدار.



شكل 4 - 12

قرية سان وان بارانجاريكوتير وتغمرها اللابة من بركان باريكوتين الذى يظهر في خلفية الصورة. لم يبق سوى برج أحد الكنائس.



شكل 4 - 13

السحب النارية (العاصفة المستعرة) تنطلق على منحدر جبل مايون بالفلبين عام 1968. والمبنى الذى في مقدمة الصورة هو عبارة عن بقية من كنيسة حيث التجأ عدة مئات من الأشخاص خلال فوران عام 1814 ولكنهم لقوا حتفهم بسبب تدفق طينى غمرهم جميعا.

مباشرة. ولكن بعد عدة أشهر من النشاط بدأت تسيل اللابة من قاعدة المخروط نفسه. وفي شهر يونيو 1944 زحفت لابة صلصالية على قرية سان وان بارانجاريكوتير وغطتها بالكامل ولم يبق سوى أحد بروجها (شكل 4 - 12). وتوقف النشاط بعد تسع ساعات بسرعة كما بدأ. والآن أصبح بركان باريكوتين واحدا من عدة براكين تنتشر في هذه المنطقة من المكسيك. وقد لا يفور هذا البركان مرة ثانية شأنه في ذلك شأن البراكين الأخرى المجاورة.

المخروطات المركبة

ان أبداع البراكين منظرًا على وجه الأرض هي المخروطات المركبة أو (البراكين ذات الطبقات). ومثلما تعزى أشكال البراكين المدرعة الى الطبيعة السائلة للابة المتراكمة فان المخروطات المركبة هي الأخرى تعكس طبيعة المواد المركبة منها. وتنتج المخروطات المركبة عندما تخرج اللابة الأنديسيتية اللّزجة نوعا. وقد يستمر المخروط المركب لمدة طويلة في اخراج اللابة اللّزجة. ثم يتغير نظام الفوران فجأة ويبدأ البركان في قذف المواد الفلذبركانية. وتسقط

(لقد شاهدت تدمير سانت بيبير. لقد وقعت المدينة فريسة لحزمة ضخمة من النار. فقد مات ما يقارب الـ 40.000 نسمة دفعة واحدة. ودمرت ثمانى عشر سفينة ما عدا السفينة التجارية البريطانية رودام. وقد سمعت بأنها فقدت أكثر من نصف ركايبها. وتمكن أحد بحارتها المشارف على الموت من الاقلاع بها وانتقاها. وقد وصل قاربنا رورينا الى مدينة سانت بيبير فى صباح يوم الخميس. وقبل دخولنا الى المراسى بساعات كنا نشاهد السنة النار والدخان تتصاعد من جبل بيبليه. ولقد كان المنظر رائعا. وعندما اقتربنا من سانت بيبير استطعنا أن نميز السنة الذهب الحمراء وهى تخرج من الجبل فى تتابع ومندفعة نحو السماء بكميات هائلة. وهناك سحب كثيفة من الدخان الأسود معلقة فوق البركان، وكان هناك هدير مكتوم ومستمر، كما لو كانت أكبر مصفاة للنفط فى العالم تحترق فوق قمة جبل. كان هناك انفجار عنيف عند الساعة السابعة وخمسة وأربعون دقيقة. وكان ذلك بعد وصولنا مباشرة، حيث انفجر الجبل الى قطع دون سابق انذار. ولقد انسلخ جانب من البركان وأقلع نحونا جدار من اللهب. وأحدث دويا كدوى ألف مدفع. ووصلتنا موجة اللهب فكانت فوقنا وحولنا مثل حزمة من البرق. انها كعاصفة من نار. رأيتها تضرب السفينة التجارية قرايلر ضربة مباشرة وتقلبها. واندلعت فيها النيران من البداية الى النهاية ثم غرقت. واتجهت النيران مباشرة الى مدينة سانت بيبير ومواقف السفن واختفت المدينة أمام أعيننا. لقد اشتدت حرارة الهواء وكنا فى وسط الزوبعة. وكلما

وبالرغم من أن للمخروطات المركبة مناظر رائعة، الا أنها تمثل أكثر أنواع البراكين عنفا. ففورانها عادة ما يكون مفاجئا ومدمرا، كما حدث فى عام 79 ميلادية عندما فار البركان الايطالى الذى يعرف باسم فيسوفياس. وقبل ذلك الفوران كان فيسوفياس خامدا لعدة قرون. ورغم وقوع هزات أرضية خفيفة محدرة مما هوأت، فان هذا البركان كانت تغطيه طبقة من الأعشاب الكثيفة أظهرته بمظهر الوداعة. وفى 24 أغسطس انتهى الهدوء. وفى الأيام الثلاث التالية كانت مدينة بومبى (قرب نابولى) قد دفنت ودفن معها 2000 من سكانها البالغ عددهم 20,000. وبقيت تحت الأنقاض لسبعة عشرة قرنا حتى تم العثور عليها وكشفها.

وبالرغم من أن تدمير بومبى الايطالية كان كارثة حقيقية الا أن هناك فورانات بركانية أكثر تدميرا تحدث عندما تنفث الغازات المحملة بالرماد الملتهب وتنطلق على هيئة سحابة مستعرة تسمى العاصفة الوهاجة. ان هذه الطفوح، التى تبدو مظلمة فى وضع النهار ولها وهج أحمر اثناء الليل، تتقدم عبر المنحدرات البركانية بسرعة تفوق 150 كيلومترا فى الساعة (شكل 4 - 13). ورغم الكثافة العالية لهذه العواصف المتوهجة فهى محمولة بواسطة الغازات المستعرة التى تنطلق من قطع اللابة الساخنة. ولذلك فان هذه المواد التى قد تحتوى على قطع كبيرة من الحمم، تنساب أسفل المنحدر فى ظروف خالية تماما من مقاومة الاحتكاك حيث تعمل الغازات المتعددة عمل الوسادة الواقية.

ففى سنة 1902، وقعت عاصفة وهاجة فى جبل بيبليه، وهو بركان صغير فى جزر الهند الغربية، ودمرت مدينة سانت بيبير وقضت على جميع سكانها البالغ عددهم 28 ألف نسمة، باستثناء سجين محمى فى حفرة تحت الأرض وصانع أحذية وعددٍ من الأشخاص كانوا فوق السفن فى الميناء (شكل 4 - 14). وقد نقل لنا ساتيس ن. كولمان فى كتابه براكين حديثة وقديمة، صورة حية لهذه الحادثة التى استمرت أقل من 5 دقائق وذلك بقوله:-



شكل 4 - 14
سانت بيير كما بدت بعد فوران جبل
بيليه 1902 .

سليمة ما عدا أسقفها التي تهدمت تحت وطأة ثقل الرماد. أما في سانت بيير، فقد تهدمت حتى الجدران المبنية بالحجارة التي يصل سمكها الى حوالى المتر، وتصرمت حجارتها مثل قطع لعبة الدومينو المبعثرة، كما اقتلعت الأشجار من جذوعها والمدافع من متاريسها.

ويصاحب عادة (العاصفة المستعرة)، الصهير كثير اللزوجة في النهاية الجرانيتية التركيب (أنظر جدول 4 - 1). وتعتبر الكتل المنتفخة، المساة قباب الالابة مظهرا آخر من المظاهر المصاحبة للبراكين التي تخرج مواد كثيرة اللزوجة. وتنتج هذه الأشكال عندما تخرج الالابة اللزجة الكثيفة من فتحة ضيقة ببطء (شكل 4 - 15). وكثيرا ما تعمل قباب الالابة عمل المغاليق مما يؤدي الى الفورانات الغازية التي تعقبها. وفي بعض الأحيان تنشأ قباب الالابة على جوانب البراكين. واذا كبر حجمها فانها تشكل خطرا منتظرا لسكان المناطق المحيطة بها. فاذا انزلق الجزء الأعلى من القبة تحت عوامل الجاذبية، فان فقدان الضغط المحبوس قد يكون بداية لاندلاع انفجارى للصهير الذى تحته. وقد تسبب هذه الانفجارات الموجهة الى الجوانب كوارث طبيعية، كتلك التي حدثت يوم 18 مايو 1980 في جبل سانت هيلينز.

ضرب عمود النار مياه البحر بدأت تغلى وصعدت منها أعمدة من البخار... لم يستغرق اندلاع النيران من البركان سوى بضع دقائق، أحرقت النيران، وأتت على كل شيء، مسته خلالها. آلاف البراميل من الخمر كانت مخزنة في سانت بيير قد انفجرت بفعل الحرارة الشديدة. وقد سالت الكحول المحترقة في الشوارع حتى وصلت الى البحر. وقد سببت هذه الكحول المشتعلة في حرائق بسفينة الرورما عدة مرات... وقبل أن ينفجر البركان كانت أرض الجزيرة تغص بالسكان وبعد الانفجار لم يشاهد أحد على قيد الحياة فوق الجزيرة.

عند مقارنة الدمار الذى أصاب سانت بيير والدمار الذى أصاب مدينة بومبى، نلاحظ فروقا عدة. فمدينة بومبى قد دفنت تماما بحادثة استغرقت ثلاثة أيام، بينما تم تدمير سانت بيير في لحظة قصيرة. ولم تغط مبانيها سوى طبقة رقيقة من مخلفات الرماد. كما أن مدينة بومبى قد بقيت

الكالديرا

لثقل هذه الكمية وافتقارها الى الدعم من أسفل فقد تحطم جزء يبلغ 1500 متر من المخروط الذى كان ارتفاعه 3600 متر. وبعد تهلم المخروط ملأت مياه الأمطار الكالديرا المتكونة. وبعد فترة من الزمن تكوّن مخروط صغير من الرماد يسمى جزيرة ويزارد ، أى الجزيرة الساحرة، والتي تذكرنا اليوم بأخبار الأمس المنسية.

ولقد نتجت كالديرا عن الفوران الخارق للبركان الأندونيسى كراكاتوا عام 1883 وسمع هذا الانفجار الذى لم يسبق له مثيل من مسافة 4800 كيلومتر فى جنوب استراليا، بينما تطاير البيوميس والرماد آلاف الأمتار فى الجو. وبعد ما يقرب من يومين كاملين من الظلام الدامس، بدأت السماء تنقشع، واتضح أن ثلثى هذه الجزيرة قد اختفى. وربما

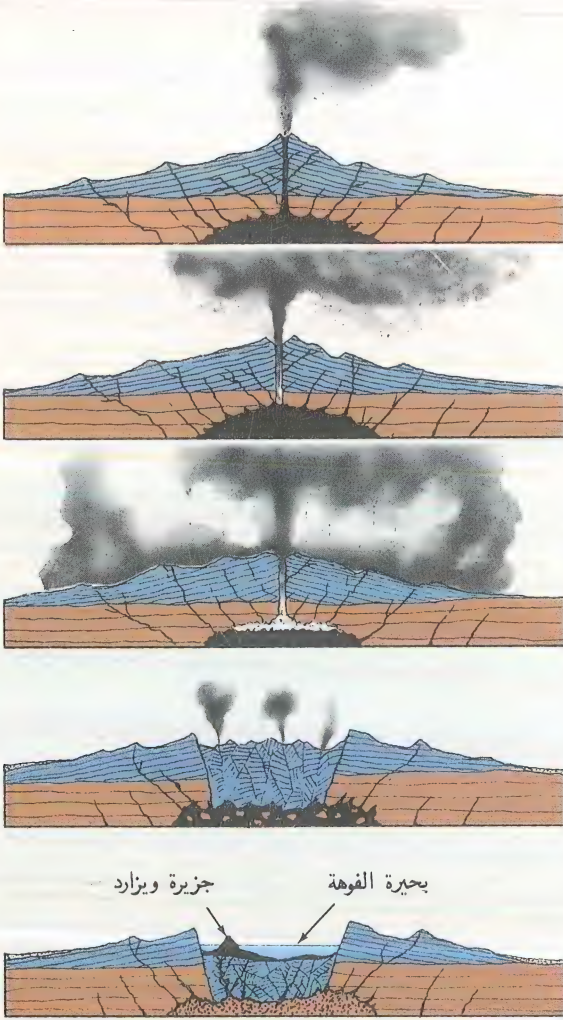
لقد ذكرنا سابقا أن لبعض البراكين فوهات كبيرة جدا تسمى كالديرا. ومن المعتقد أن بعض أنواع الكالديرا تتكون عندما تنهار قمة البركان، حتى تظهر غرفة الصهير المفرغة جزئيا (شكل 4 - 16). وتقع بحيرة الفوهة (كريترليك) بولاية أوريجون التى يبلغ عرضها 8 - 10 كيلومترات وعمقها 1300 متر، فى مثل هذه الفوهات (شكل 4 - 17). لقد بدأت بحيرة الفوهة هذه فى التكوين منذ حوالى 7000 سنة، عندما ثار البركان الذى سُمى فيما بعد بجبل مازاما وخرج منه رماد كثيف مثل رماد بركان فيسوفياس. ولكن هذا الفوران التاريخى كان أكبر بكثير، فقد خرج منه ما يقدر بخمسين الى سبعين كيلومترا مكعبا من المواد البركانية. ونظرا

شكل 4 - 15

فى أعقاب فوران 1980 لجبل سانت هيلينز بدأت قبة كبيرة من اللابة فى النمو.



ويعتقد بأن القنوات التي تغذى معظم البراكين متصلة بمصدر للصهير مستقر قريبا من سطح الأرض. وعلى النقيض من ذلك فإن بعض الأنابيب الغنية بمعادن الحديد والمغنيسيوم تمتد في شكل أوعية لتصل مباشرة الى الغلاف



شكل 4 - 16

تتابع الأحداث التي كونت بحيرة كريتير بولاية أريجون. منذ حوالي 7000 سنة تحطمت قمة جبل مازما السابقة عقب فوران شديد أدى الى تفريغ غرفة الصهير. أما الفورات اللاحقة فقد أدت الى تكوين مخروط الرماد المسمى جزيرة ويزارد وقد ساهمت مياه الأمطار والمياه الجوفية في تكوين البحيرة.

انهار جزء من البركان وملأ الفراغ الذي تركه تدفق 18 كيلومترا مكعبا من الصهير. وكان البيوميس (الصخر الخفاف) يشكل معظم المواد المقذوفة. وبعد الانفجار بقيت هذه الكمية الضخمة طافية مما أعاق الملاحة في مضائق جزر صوندا المجاورة. ورغم خلو جزيرة كراكاتوا من السكان إلا أن الموجة البحرية المدمرة التي بلغ ارتفاعها 30 مترا، والتي سببها الانفجار، قد أدت الى وفاة 36.000 نسمة في منطقتي جاوة وسومطرة القريبتين. وتوجد عدة أحجام من الكالديرا يبلغ عرض أكبرها 20 كيلومترا. وبطبيعة الحال، نتجت بعض أنواع الكالديرا من الهبوط الذي يحدث عند تغير وجهة الصهير نحو جوانب الفوران، مثل الكالديرا مونالووا وكيلالووا. بينما ينتج بعضها الآخر عن حادثة الانفجار التي تقذف بالجزء الأعلى من البركان كما حدث في جبل هيلينز عام 1980. وحيث أن معظم الكالديرات تكونت ما قبل التاريخ فإن طريقة تكونها غير معروفة تماما. ولو أن هناك محاولات لتتبع حالات الفورات القديمة التي انتجت هذه الأشكال، إلا أنه من الصعب تحديد الكمية والكيفية التي انفجرت بها بدقة الى جانب تحديد الجزء الذي هبط الى غرفة الصهير التي فرغت جزئيا من محتوياتها.

الرقاب والأنابيب البركانية

تتعرض البراكين كغيرها من مناطق اليابسة الى عوامل التجوية والتعرية باستمرار. وتضمحل مخروطات الرماد بسهولة لأنها تتكون من مواد غير هشة. ورغم ذلك فإن كل التركيبات البركانية سوف تندوى وتلاشى. ويتقدم نشاط التعرية فان الصخور التي تتكون منها الفتحة كثيرا ما تقاوم هذا النشاط وقد تبقى باردة فوق ما حولها حتى بعد أن تختفى معظم مكونات المخروط. ويعتقد بأن شب روك (الصخرة السفينة) بولاية نيومكسيكو هي عبارة عن ذلك التركيب المسمى بالرقبة البركانية (شكل 4 - 18). فهذا التركيب الذي يفوق في ارتفاعه ناطحات السحاب هو واحد من عدة تركيبات تبرز بوضوح من الأراضي الصحراوية الحمراء في الجنوب الغربي للولايات المتحدة.

المعادن التي عادة ما تتكون تحت ظروف الضغط العالي. وفي هذه الحالات، ينشأ الماس على هيئة بلورات في الأعماق ثم يتم نقلها الى أعلى عن طريق الجزء السائل من الصهير.

قارة أطلانتس المفقودة

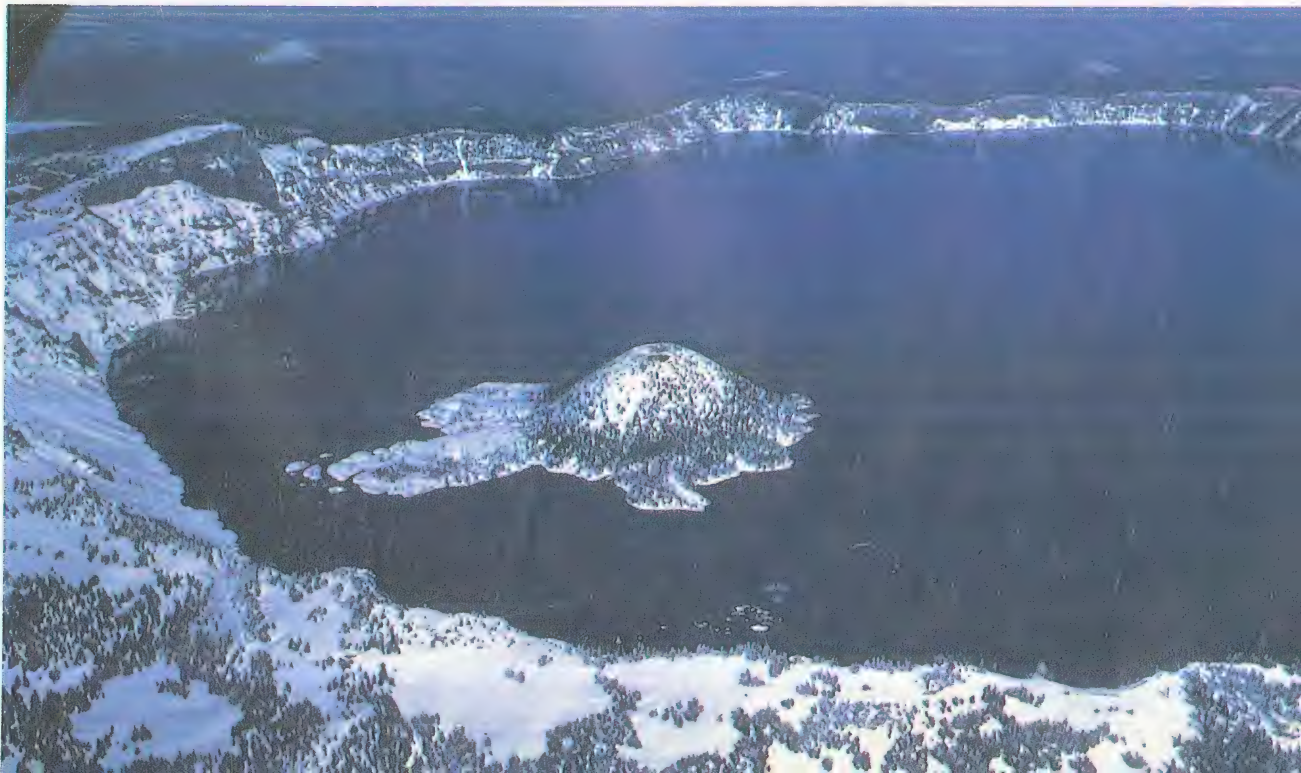
تهتم أغرب الأساطير شهرة عبر التاريخ باختفاء القارة المسماة أطلانتس. وحسب ما كتبه أفلاطون أن امبراطورية الجزيرة المسماة أطلانتس قد اختفت تحت البحر في يوم وليلة. ويعتقد بأن هذه الحادثة التي وقعت بين 1500 و 1400 سنة قبل الميلاد، والتي كانت سببا في أقول حضارة المينويين، كانت نتيجة لفوران بركاني مدمر. وقد أسفرت جهود البحث في شرق البحر المتوسط عن أدلة مفادها أن هناك صلة واضحة بين أطلانتس وجزيرة سانتورين البركانية. وقد أصبحت سانتورين، التي كانت بركانا ضخما، خمسة جزر

الوهن بعمق 200 كيلومتر. ولهذا فانه يعتقد بأن المواد المكونة لهذه الأنابيب هي عبارة عن عينات من الغلاف الوهن التي لم يطرأ عليها تغير كبير خلال صعودها الى السطح. ولهذا فان الجيولوجيين يعتبرون هذه الأنابيب نوافذ يطلون منها على أعماق الأرض حيث أنها تساعدنا على معاينة الصخور التي توجد عند هذه الأعماق الكبيرة.

وأحيانا تصل الأنابيب البركانية قرب السطح ولكن مرحلة الفوران قد تتوقف قبل خروج اللابة فوقه. وغالبا ما يحتوى الجزء العلوى من هذه الأنابيب على خليط من قطع اللابة ومن القطع التي مزقتها الغازات الهاربة من جدران الفتحات البركانية. ومن التركيبات المعروفة من هذا النوع، الأنابيب الحاملة للماس بجنوب افريقيا، فهناك تقدر الأعماق التي نشأت فيها الصخور المكونة لهذه الأنابيب بحوالى 200 كيلومتر، حيث يكون الضغط كافيا لتكوّن الماس وبعض

شكل 4 - 17

تحتل بحيرة كريتير فوهة قطرها 15 كيلومتراً.



فوران وتحطم بركان سانتورين. وهذه بدورها أدت الى انتشار الرعب والدمار في القرى الساحلية لجزيرة كريت والجزر الشالية المجاورة.

ومما يؤكد العلاقة بين فوران بركان سانتورين واختفاء قارة أطلانتس تلك الحقائق المعروفة عن أفول حضارة المينويين، بين 1500 و 1400 سنة قبل الميلاد. وبدأت تظهر بعض تقاليد المينويين في الحضارة اليونانية عند حوالي 1400 سنة قبل الميلاد.

ويرجح معظم المؤرخين أن فوران بركان سانتورين قد ساهم في تدهور حضارة المينويين. فهل كان هذا الفوران هو

تقع في منتصف المسافة بين اليونان وجزيرة كريت. وقد أوضحت الأدلة المجمعة من عينات أخذت من بقايا سانتورين، أن فورانا بركانيا عنيفا حدث حوالي عام 1500 قبل الميلاد. وقد نتج عن هذا البركان كتلة ضخمة من الرماد والبيوميس بلغ سمكها 60 مترا. وقد غطت كثيرا من مدن الحضارة المينوية وحفظت آثارها تحت الرماد. كما تساقط الرماد في مناطق بعيدة مثل جزيرة كريت وقتل المحاصيل والماشى التى كانت ترعى على الأعشاب المحملة بالرماد. وقد تحطم بركان سانتورين بعد قذف هذه الكميات الهائلة من المواد البركانية وكون كالديرا عرضها 14 كيلومترا. كما نشأت بدون شك أمواج بحرية ضخمة ومدمرة من جراء

شكل 4 - 18

الصخرة السفينة بكسيكو الجديدة، هى بقية رقبة بركان كشفتها عوامل التعرية.



مئوية) مما قد لا يترتب عليه أى أهمية. وفي الرابع من أبريل 1982، فار بركان الشيشون، وهو بركان صغير معروف في شبه جزيرة يوكاتان بالمكسيك. وكانت سحابة الرماد وغازات الكبريت التي ارتفعت في الجو ضخمة، وربما كانت أكبر عشرين مرة من سحابة جبل سانت هيلينز. وعقب الانفجار تنبأ العلماء بانخفاض تدريجي في درجات الحرارة في نصف الكرة الشمالي قد يصل من 0.3 الى 0.5 مئوية. وهذا التغير في درجة الحرارة هو من الأهمية بحيث يمكن ملاحظته بين التغيرات الحرارية الأخرى ولكنه من الضالة بحيث لا يؤثر في حياتنا اليومية. ومع هذا كله، فان كثيرا من العلماء يتفقون على أن هذا التبريد العالمي قد يغير من نمط الدورة المناخية العامة لمدة محدودة. وقد يؤثر هذا التغير على المناخ في بعض المناطق. ولكن لا يزال التنبؤ بتغيرات اقليمية محدودة بشكل تحديا كبيرا لعلماء المناخ.

وتوضح الأمثلة المتقدمة تأثير واقعة واحدة من وقائع الفوران البركاني. فمهما كانت هذه الواقعة كبيرة فان أثرها يظل صغير نسبيا ولفترة قصيرة. ولذلك، لكي يكون للنشاط البركاني تأثير يذكر خلال فترة طويلة، فلا بد أن تتكرر عدة فورانات كبيرة تفصل بينها فترات زمنية قصيرة. فلو حدث هذا، فان طبقات الجو العليا سوف تكون محملة بالغبار البركاني لدرجة تقلل بوضوح كمية الاشعاع الشمسي الساقط على الأرض. وحيث أنه لا يوجد ما يدل على وقوع نشاط بركاني انفجاري لفترة طويلة عبر التاريخ، فان نظرية الغبار البركاني عادة ما تذكر كسبب محتمل للتغيرات المناخية قبل التاريخ كالعصر الجليدي.

ولكن لا يمكن اعتبار العصر الجليدي فترة تجلّد مستمر. فهو بدلا من ذلك يتسم بتناوب فترات من تقدم وانحسار الجليد. ويطلق على الفترات الدافئة فترات ما بين التجلّد. ولذلك فلو اعتبرنا أن النشاط البركاني هو القوة الرئيسة المسببة للزمن الجليدي، فلا بد أن يكون هناك تناوب بين فترات التبركّن الانفجاري وفترات الهدوء النسبي. ولا تزال الفكرة القائلة بأن النشاط البركاني هو سبب العصر الجليدي

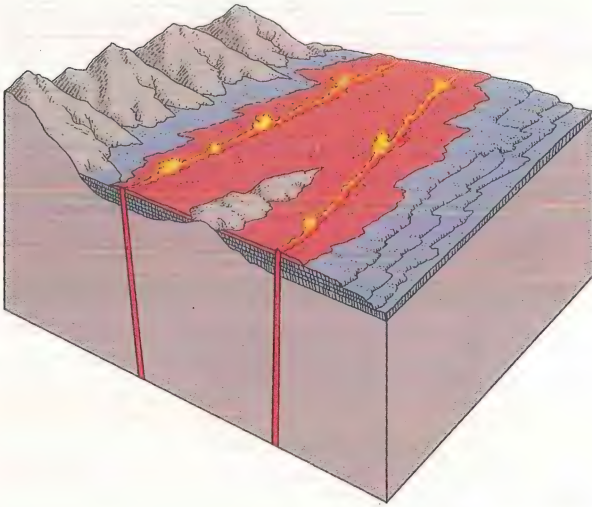
السبب الرئيسي في اختفاء هذه الحضارة العظيمة؟ أم أن هناك عوامل أخرى؟.. هل كانت سانتورين هي جزيرة قارة أطلانتس التي وصفها أفلاطون؟.. ومهما كانت الاجابات على هذه الأسئلة فالواقع أن البراكين تعمل على تغيير مجرى الأحداث تغييرا مفاجئا.

البراكين والمناخ

لم تكن الفكرة القائلة بأن فوران البراكين يسبب تغيرات في مناخ الأرض وليدة اليوم، ولكنها لا تزال مقبولة لتفسير بعض ظواهر التغيرات المناخية. فالفوران الانفجاري ينثف كميات هائلة من الغازات والأجسام الدقيقة الى الجو. كما ترسل الفورانات القوية مواد الى ارتفاعات عالية تصل الى طبقات الجو العليا حيث تنتشر حول الكرة الأرضية، وتظل معلقة لعدة أشهر أو ربما سنوات. وتعتمد هذه النظرية على أساس أن هذه المواد البركانية المعلقة سوف تحجب قسما من الأشعة الشمسية الساقطة على الأرض، وبالتالي تقلل من درجة حرارة الجو.

وربما تعزى أول فترة باردة الى واقعة بركانية هي حادثة «السنة التي بدون صيف»، التي أعقبت بركان جبل طامبورا سنة 1815 بأندونيسيا. لقد ساد الاعتقاد حينذاك بأن سبب برودة صيف عام 1816 في عدد من مناطق النصف الشمالي من الكرة الأرضية بما في ذلك انجلترا الجديدة بشرق الولايات المتحدة، كان سببه سحابة الغبار البركاني الذي قذفه جبل طامبورا.

وعندما فار بركان جبل سانت هيلينز في 18 مايو عام 1980، كان هناك حدس فوري بالتأثير المحتمل لهذه الواقعة على المناخ. هل يمكن لفوران مثل هذا أن يغير المناخ؟ ورغم ضخامة فوران بركان سانت هيلينز الا أن فورانا مشابها له يحدث في مكان ما من العالم كل سنتين الى ثلاث سنوات. وتشير الدراسات التي تناولت هذه الوقائع أن تبريدا طفيفا يحدث فعلا في طبقات الجو السفلى. ولكنه من المعتقد أن هذا التبريد هو من الضالة (أقل من عشر درجة



شكل 4 - 19

بازلت فيضاني. يتفجر الصهير من تشققات في طفوح سبق أن تبلرت لتنتج تراكما سميكا من صخور البازلت.



شكل 4 - 20

طوح البازلت في مرتفع كولومبيا.

غير واضحة. وحتى المؤيدين لهذه الفكرة يعتقدون بأن المعلومات المتوفرة ليست كافية لفصل الحوادث الجليدية عن الحوادث البين جليدية. ولذلك فإن أهمية النشاط البركاني كسبب للزمن الجليدي لا تزال موضع غموض وتخمين مستمر. ويلخص ستيفن شنايدر، وهو باحث نشط ومؤلف مرموق في مجال التغيرات المناخية، حالة الشك الحاضرة لدى كثير من العلماء فيما يخص نظرية الغبار البركاني فيقول:

ورغم أنه قد يكون للبراكين دور مهم في أحداث التغيرات المناخية، وإذا ما صح ذلك، فإنه يجب على محاولة تعلم طرق التنبؤ بفوران البراكين بدلا من صرف جلّ وقتي في وضع النماذج المناخية غير أنه وحتى الآن ليس بإمكاننا التأكد من أن التأثير الذي تركته الانفجارات البركانية في المناخ يمكن تتبعه في السجل المناخي.

فوران الشروخ وتراكم الطفوح الفلذبركانية

بالرغم من الفوران البركاني من فوهة مركزية هو الأكثر ألفة، إلا أن كميات أكبر من المواد البركانية تخرج من شقوق أو تشققات في القشرة الأرضية تسمى شروخا. فبدلا من بناء مخروط معزول، تخرج اللابة من عدة فتحات على امتداد هذه الشقوق الضيقة، مما ينتج عنه توزيع المواد البركانية على رقعة واسعة (شكل 4 - 19). وتعرف منطقة شاسعة من الشمال الغربي للولايات المتحدة باسم مرتفع كولومبيا، قد تكونت بهذه الطريقة. ففي هذا الموقع أخرج العديد من فورانات الشروخ لابة بازلتية شديدة السيولة. فقد غطت السطوح المتتابة، التي بلغ سمك كل منها 50 مترا، سطح الأرض القديم وبنّت سهلا من اللابة يصل سمكه في بعض الأمكنة بين 2 و 3 كيلومترات (شكل 4 - 20). وبما يدل على سيولة اللابة أن بعضها بقي جاريا لمسافة 150 كيلومترا من مصدره الأصلي. ومن المناسب أن توصف هذه اللابة

وربما تكون هضبة ييلوستون في شمال غرب ولاية وايومنغ بأمريكا أشهر مكان للطفوح الفلذبركانية. ففي هذا المكان يوجد جسم صهير ضخم غنى بالسليكا يقع على بعد بضعة كيلومترات تحت السطح. وقد حدث تشقق في الصخور التي تعلو غرفة الصهير عدة مرات خلال المليونى سنة الماضية ونتج عن ذلك فورانات ضخمة مصحوبة بتكون كالديرا. ففي الجزء الشمالى الغربى لمنتزه ييلوستون، تم اكتشاف 27 غابة متحجرة الواحدة فوق الأخرى. ففي فترات توقف النشاط البركانى تنمو غابة فوق السطح البركانى المتكون ثم يغطيه الرماد في مرحلة الفوران التالية. وبتفحص الجدول رقم 4 - 2 يتضح أن هناك كميات كبيرة من المعادن الفلذبركانية التي خرجت في منطقة ييلوستون. ولحسن الحظ لم يحدث فوران من هذا النوع في أيامنا هذه.

التبركن وحركية الألواح

لقد كانت نشأة الصهير موضوع جدل جيولوجى منذ بداية هذا العلم. كيف تنشأ عدة أنواع من الصهير لكل منها تركيب مختلف؟ لماذا تخرج البراكين الواقعة داخل الأحواض المحيطية العميقة لابة أنديسيتية؟ لماذا تسود اللابة البازلتية فوق سطح الأرض، بينما يحتل معظم الصهير الجرانيتى مواقع أحواض ترسيب محيطية عميقة؟ لماذا تحيط بالمحيط الهادى منطقة ذات نشاط نارى والتي تسمى «بحزام النار»؟ هناك معلومات جديدة حصلنا عليها عن طريق نظرية حركية الألواح التي ما فتئت تزودنا باجابات لهذه الأسئلة. سوف نفحص أولا أصل الصهير ثم نخرج الى توزيع النشاط البركانى حول الكرة الأرضية كما يتضح لنا من خلال نموذج حركية الألواح.

نشأة الصهير

نحن نعلم أن الصهير يمكن أن ينتج عندما تسخن الصخور الى درجة الانصهار. وفي الظروف السائدة على السطح تبدأ الصخور ذات التركيب الجرانيتى في الانصهار

بمصلح بازلت الفيضان. ورغم أن مساحات قليلة على اليابسة تغطيها طفوح البازلت، الا أن النشاط الأكبر لهذا النوع يقع في قاع المحيطات حيث لا يمكن رؤيته. وعلى امتداد مرتفعات وسط المحيطات حيث تنشط عملية انتشار قاع المحيطات، تضيف فورانات الشروخ كل يوم قاعا جديدا للبحار. فأرض آيسلندة التي تقع فوق مرتفع وسط المحيط، قد شهدت عدة فورانات شرخية من النوع الذى يحدث في مراكز الانتشار. وأكبر فوران آيسلندى سجله التاريخ وقع سنة 1783. فقد أنتج منخفضا طوله 25 كيلومترا فوق 20 فتحة منفصلة، كانت في البداية تخرج غازات كبريتية وتراكمت رماد شكلت عدة مخروطات فلزية صغيرة. وقد أعقب هذا النشاط انسكاب هائل لبازلت شديد السيولة. فقد زاد حجم اللابة المنسكبة في هذا الفوران، الذى سمي بفوران لاكى، على 10 كيلومترات مكعبة. وقد تجمعت اللابة السائلة أولا في الأودية القريبة وبعد مراحل متكررة من الفوران أدى ذلك الى تشكيل تضاريس على هيئة هضبة منبسطة.

وعندما يخرج الصهير الغنى بالسليكا من الشروخ فان القاعدة أن يكون طفوحا فلذبركانية محتوية في مجملها على الرماد وقطع البيوميس. وعندما تقذف هذه المواد الفلذبركانية فانها تنطلق بعيدا عن الفتحة بسرعة عالية وقد تغطي مساحات شاسعة قبل أن تستقر. وتشبه طفوح اللابة الى حد كبير المواد الفلذبركانية بعد استقرارها.

وتوجد تراكمت ضخمة من الطفوح الفلذبركانية في عدة مناطق من العالم وعادة ما تكون مصاحبة للكالديرات الضخمة. ويعتقد بأن أول مرحلة لتكوّن هذه الطفوح تبدأ عندما يستقر جسم من صهير ذى لزوجة عالية قرب السطح محدثا تقوسا في الصخور التي تعلوه. ثم تسمح تشققات السقف للصهير المحمل بالغازات بالوصول الى السطح حيث ينتج عن ذلك فورانات انفجارية قصيرة. وفي النهاية يعمل فقدان الصهير من أسفل السطح على تهدم السقف.

فلو كانت الحرارة هي العامل الوحيد الذى يحدد انصهار الصخور لأصبحت الأرض كرة منصهرة فيما عدا قشرة خارجية رقيقة متصلة. ولكن الضغط هو أيضا يزداد مع العمق. وحيث أن الصخور تتمدد بالحرارة فان الصخور المطمورة تحتاج الى حرارة أكبر لتنصهر، وذلك للتغلب على أثر الضغط المحصور. وعادة ما تسبب الزيادة في الضغط المحبوس زيادة في درجة انصهار الصخور. والعامل الآخر الهام الذى يؤثر في درجة انصهار الصخور هو محتواها من الماء. فكلما كان المحتوى المائى اكبر كلما كانت درجة الانصهار أقل الى حد معين. ويتضاعف أثر الماء في العمل على انخفاض درجة الانصهار كلما زاد الضغط وتبعاً لذلك فان الصخور (الرطبة) المضغوطة تمتلك درجة انصهار أقل من الصخور (الجافة) ذات نفس التركيب. وبينما تنصهر الصخور (الجافة) عند درجة حرارة أقل في حالات الضغط المنخفض فان الصخور المشبعة بالماء تنصهر بسهولة في حالات الضغط المرتفع (شكل 4 - 21). ولهذا فان درجة حرارة انصهار الصخور تتوقف على درجة الحرارة والضغط المحصور والمحتوى المائى، بالإضافة الى التركيب المعدنى.

وفي الطبيعة، تنصهر الصخور المطمورة في الأعماق لأحد السببين الآتين: الأول وهو تسخين الصخور الى درجة انصهارها، والثاني هو أن انخفاض الضغط المحيط يمكن أن يؤدي الى انخفاض في درجة الانصهار الى درجة يمكن أن يبدأ فيها إنصهار الصخور دون زيادة في درجة الحرارة. وتلعب كلا العمليتين دوراً مهماً في نشأة الصهير.

ويعتقد بأن معظم الصهير البازلتى ينشأ من الانصهار الجزئى لصخور البيريدوتيت المكون الأساسى للجزء العلوى من الوشاح. وتؤكد الدراسات العملية أن الانصهار الجزئى لهذا الصخر الجاف الفقير في السليكا، ينتج عنه صهير ذو تركيب بازلتى. وحيث أن صخور الوشاح توجد تحت حرارة وضغط مرتفعين فان انصهارها ينشأ من انخفاض في الضغط المحصور. ويحدث هذا مثلاً عندما تصعد صخور الوشاح الى أعلى كجزء من تيارات الحمل البطيئة الحركة.

عند درجة تقرب من 750° م بينما تحتاج الصخور البازلتية الى درجات حرارة تفوق 1000° م قبل أن تنصهر. وهناك فرق هام بين انصهار مادة مكونة من مركب واحد مثل الثلج، وانصهار الصخور النارية التى هي خليط من عدة معادن متباينة. وبينما يذوب الثلج عند درجة 0° م، فان معظم الصخور النارية تنصهر في درجة حرارة يصل مداها عدة مئات من الدرجات. وعند تسخين الصخور فان أول صهير يتكون يحتوى على نسبة أكبر للمعادن ذات درجات إنصهار منخفضة من النسب المئوية لذات المعادن في الصخر الأصلى. وإذا ما استمر الانصهار فان تركيب الصهارة سوف يقترب تدريجياً من التركيب العام للصخور التى استمدت منها. وغالباً ما تتوقف عملية الانصهار قبل إنتهاؤها. وينتج عن هذه العملية المسماة بالانصهار الجزئى معظم، ان لم يكن كل أنواع الصهير المعروف.

ومن النتائج الهامة للانصهار الجزئى الحصول على صهارة محتواها من السليكا أعلى من الصخر الأم. تذكر أن محتوى الصخور البازلتية من السليكا قليل نسبياً وأن محتوى الصخور الجرانيتية من السليكا أعلى بكثير نسبياً. وبذلك فان الصهير الناتج عن الانصهار الجزئى هو أقرب الى الطرف الجرانيتى في تدرج التركيب من مواد الصخر الأم، التى استمدت منها. وكما سنرى فان هذه الفكرة تساعدنا على تفهم التوزيع الجغرافى للأنواع المختلفة من النشاط البركانى.

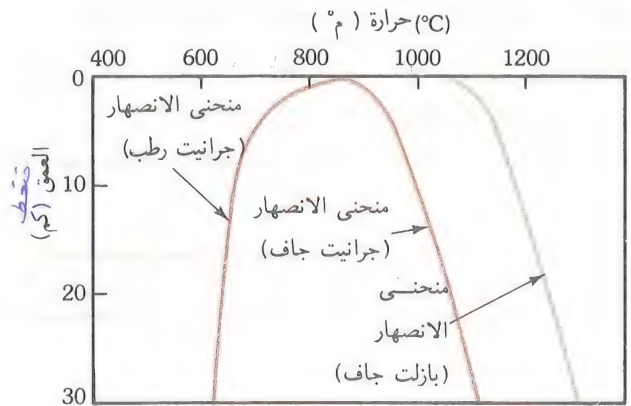
ما هو مصدر الحرارة التى تنصهر الصخور؟ أحد هذه المصادر هي الحرارة المنبعثة أثناء التحلل الاشعاعى للعناصر المشعة، والذى يعتقد بأنها تتركز في الجزء العلوى من الوشاح وفي القشرة الأرضية. ولقد لاحظ العاملون في المناجم منذ زمن أن الحرارة تزداد مع العمق. ورغم أن هناك تفاوتاً في معدل الزيادة من مكان الى آخر، فهى تصل في المتوسط الى 30° م للكيلومتر الواحد في الجزء العلوى من القشرة. وتعرف هذه الزيادة المطوّدة في درجة الحرارة مع العمق بتدرج الحرارة الأرضية.

ونظرا الى أن الصهير ينشأ في عمق يصل الى عدة كيلومترات تحت السطح، فمن المتوقع أن معظم هذه المواد تبرد ثم تتبلر قبل وصولها الى السطح. ولكن، عندما يصعد الصهير البازلتى الجاف، فإن الضغط المحصور يتضاءل تدريجيا وبالتالي يقلل من درجة الانصهار. ويبدو أن الصهير البازلتى يصعد بسرعة بحيث أنه عندما يصل الى مستوى أبرد يتم تعويض النقص في درجة الحرارة بهبوط في درجة الانصهار ولذلك فانه تكثر الانسكابات الكبيرة للصهير البازلتى فوق سطح الأرض.

وعلى النقيض من ذلك، فانه يسود الاعتقاد بأن الصهير الجرانيتى ينشأ عن طريق الانصهار الجزئى للصخور الغنية بالماء والتي تقع تحت ضغط ودرجة حرارة كبيرين. تذكر أن الزيادة في الضغط تقلل الى حد كبير من درجة انصهار الصخور المحتوية على كمية كبيرة من الماء. ولذلك فانه يعتقد بأن ردم المواد الرطبة الغنية بالكوارتز الى أعماق قليلة نسبيا قد يكون كافيا لحدوث الانصهار (شكل 4 - 22). ولذلك، فعلى عكس ما هو معروف عن الصهير البازلتى من أنه ينصهر عند انخفاض الضغط، فإنه يتوقع أن ينشأ الصهير الجرانيتى تحت ظروف تتسم بضغط متزايد.

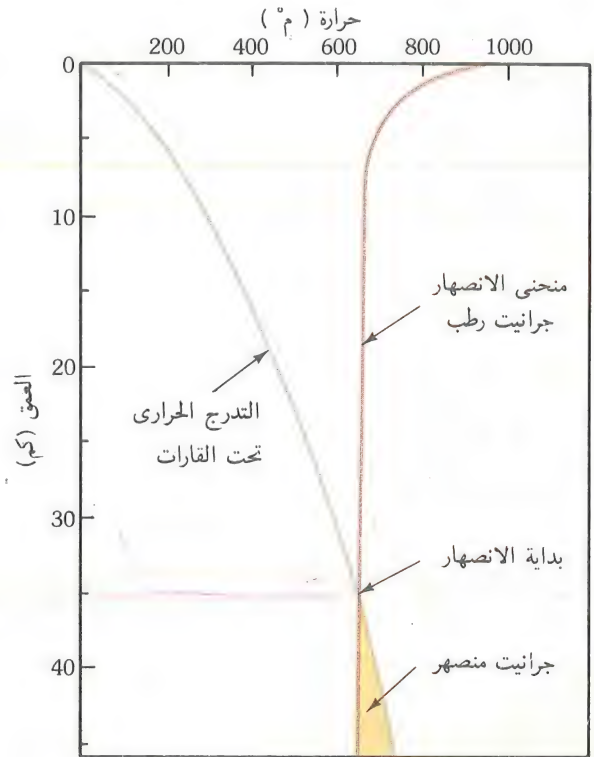
وعندما تصعد الصهارة الجرانيتية ينخفض الضغط المحصور، وهذا بالتالى يساعد على التقليل من تأثير الماء على الهبوط في درجة حرارة الانصهار. ولذلك فانه على العكس من صهير البازلت المفتقر للماء، الذى ينتج انسكابات كبيرة للآبة، فان معظم الصهير الجرانيتى يفقد قدرته على الحركة قبل الوصول الى السطح وينتج عن ذلك ظواهر جوفية كبيرة مثل الباثوليث. وفي تلك الحالات التى يصل فيها الصهير المشبع بالسليكا الى السطح فان القاعدة أن تنشأ الطفوح الانفجارية الفلذبركانية مثل تلك التى أنتجت مرتفع اليبيلوستون.

وحيث أن الصهير الأنديسيى هو متوسط في التركيب بين الصهير البازلتى والصهير الجرانيتى، فان خواصه تكون



شكل 4 - 21

منحنيات نموذجية لنقاط انصهار البازلت والجرانيت. لاحظ أنه وقت إنصهار الجرانيت والبازلت الجافين عند درجات حرارة مرتفعة بزيادة العمق، فإن درجة إنصهار الجرانيت الرطب تتناقص كلما ارتفع الضغط الكامن.



شكل 4 - 22

منحني الانصهار النظرى والتدرج الحرارى الأرضى الذى يؤيد الحقيقة القائلة بأن ردم الجرانيت الرطب لعمق حوالى 35 كيلومترا سوف ينتج عنه بعض الانصهار.

بووين من أنه عند تصلب الصهير تحدث عملية التبلر التجزئي. وينتج عن ذلك صهير يختلف تماما عن المواد الأم. وقد يبرر هذه العملية على الأقل جزئيا قدرة البركان الواحد على اخراج لابة متفاوتة تفاوتا كبيرا في تركيبها الكيميائي.

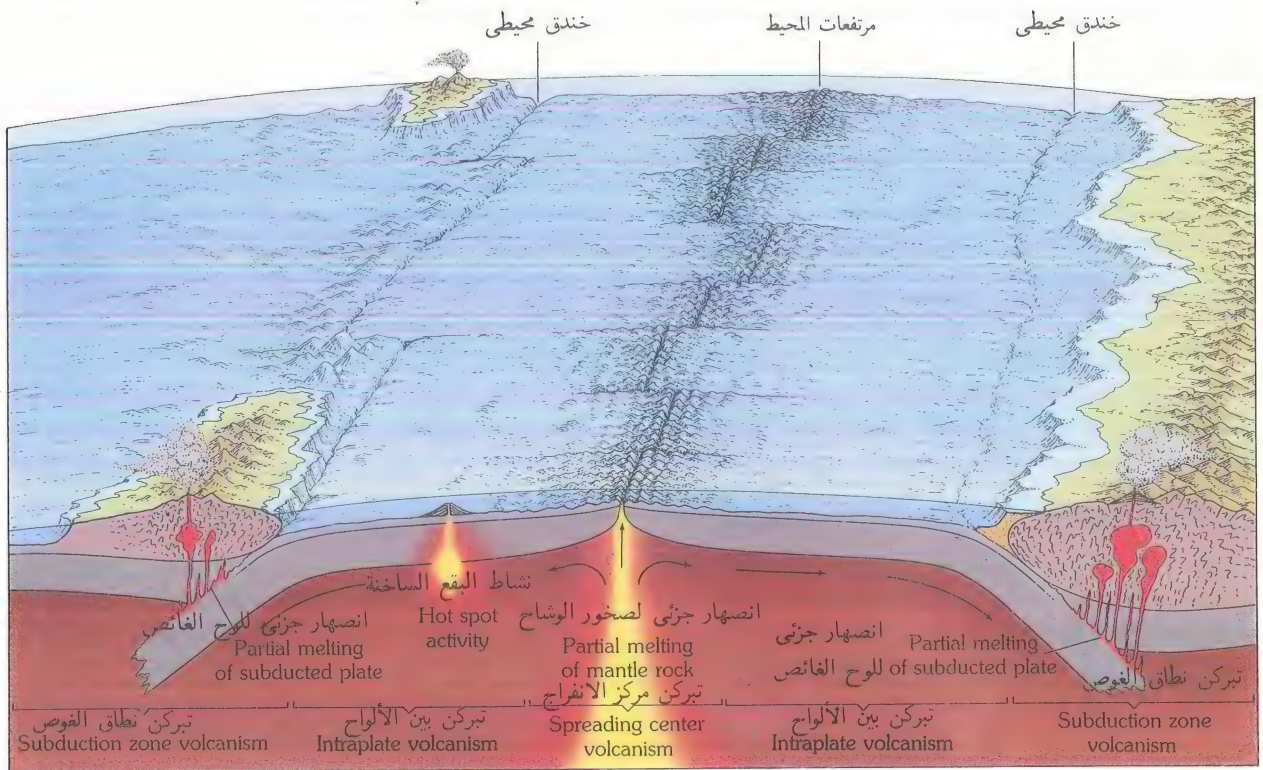
توزيع النشاط الناري

تقع معظم البراكين النشطة المعروفة، والتي يزيد عددها عن 600 بركان، قرب الاطراف المتقاربة للألواح (شكل 4 - 23). هذا بالإضافة الى النشاط البركاني المكثف الذي يحدث بعيدا عن الأنظار على امتداد مراكز الانتشار لنظم مرتفعات وسط المحيطات. وفي هذا الجزء سوف نتفحص ثلاثة نطاقات للنشاط البركاني في اطار علاقة هذا النشاط

متوسطة كذلك. ورغم أن الصهير الأنديسيتي هو شائع نسبيا، فإن طفوحه تكون أكثر لزوجة، وبالطبيعة فهي أكثر سمكا وأقل انتشارا من تلك الطفوح التي تنتج عن الصهير البازلتى الذى هو أكثر سيولة. وعلاوة على ذلك فإن نسبة كبيرة من الصهير الأنديسيتي تخرج على هيئة قطع فلذبركانية.

ورغم الاعتقاد بأن معظم الصهير ينتج عن الانصهار الجزئى، الا أن تركيبه قد يتغير بمرور الزمن تغيرا جذريا. فمثلا عندما يصعد جسم صهيري الى أعلى، فإن الصخور المحيطة قد تندمج معه. وبينما يتم امتصاص الصخور المحيطة يتغير التركيب المعدنى للصهير. هذا بالإضافة الى أننا نذكرك بما تمت مناقشته في سياق الحديث عن تتابع تفاعلات





شكل 4 - 24

هناك ثلاثة نطاقات للتبركن يقع اثنان منها في حواف الألواح ويقع الثالث في مناطق داخل الألواح نفسها.

ويصل بعض البازلت المنصهر الى قاع المحيط مما ينتج عنه طفوح شاسعة للابة أو يتراكم على هيئة كومة بركانية. وفي بعض الحالات ينتج هذا النشاط مخروطا بركانيا يرتفع فوق مستوى سطح البحر مثلما فعلت جزيرة سورتسي في سنة 1963 (شكل 4 - 25). هذا كما يوجد عدد من المخروطات البركانية المغمورة على جانبي نظام مرتفعات وسط المحيط وفي قاع المحيط المجاور. ولقد تكونت كثير من هذه البراكين على امتداد قمة مرتفع وسط المحيط ثم ابتعدت عند نشوء قشرة جديدة بفعل عمليات انتشار قيعان البحار التي لا تنتهى.

تبركن منطقة غوص الألواح ينحصر تواجد الصخور ذات التركيب الأنديسيى والجرانيتى فى القارات وفى سلاسل

بالنشاط المحركى العالمى. وتوجد هذه المناطق النشطة على امتداد المرتفعات المحيطية وبمحاذاة الخنادق المحيطية، كما توجد أيضا داخل الألواح نفسها (شكل 4 - 24).

تبركن مراكز الانتشار وكما ذكر آنفا فان أكبر حجم للصخور البركانية ينتج على امتداد نظم مرتفعات وسط المحيطات، حيث تنشط عمليات انتشار قيعان البحار (شكل 4 - 24). فبينما يبتعد الغلاف الصخرى المتصلب، يقل الضغط المؤثر على الصخور العميقة. ويخفف هذا الهبوط فى الضغط من درجة انصهار صخور الوشاح. وينتج عن الانصهار الجزئى لهذه الصخور (وعلى الأخص صخر البيريدونيت) كميات كبيرة من الصهير البازلتى الذى يصعد الى أعلى ليملاً الشقوق الناشئة حديثاً.



شكل 4 - 25

جزيرة سورتسى التى ظهرت من المحيط جنوب ايسلندة مباشرة في سنة 1963 .

المحيطية الفائصة على نسبة كبيرة من السليكا وعند انصهارها تنتج صهيرا ذا تركيب جرانيتى.

وحزام النار ذو علاقة بمواقع الغوص والانصهار للوح المحيط الهادى. وتخرج البراكين في هذه المنطقة النشطة جدا صهيرا له محتوى متوسط من السليكا. وتعتبر سلسلة جبال الكاسكيد في شمال غرب الولايات المتحدة من هذا النوع.

التبركن داخل الألواح من الصعب تحديد العمليات التى تحدث النشاط البركانى داخل الألواح الصلبة. وقد نجم عن هذا النشاط، مثل ما هو موجود في ييلوستون ومناطق أخرى قريبة، طفوح من البيوميس الرايوليتى ومن الرماد، بينما تغطى طفوح البازلت مناطق شاسعة من شمال غرب الولايات المتحدة. ولكن هذه الصخور ذات التركيب المعدنى المتباين يعلو بعضها بعضا في عدة مواقع.

وحيث أن اللابة البازلتية توجد على القارات كما توجد داخل الأحواض المحيطية، فالسبب الأكثر احتمالا لهذا النشاط هو الانصهار الجزئى لصخور الوشاح العلوية. تذكر أن الهزات الأرضية تشير الى أن جزيرة هاواى تستمد في الحقيقة صهيرها من الجزء العلوى للوشاح. ويشير أحد الاحتمالات الى أن نسبة صغيرة من صخور الغلاف الوهن

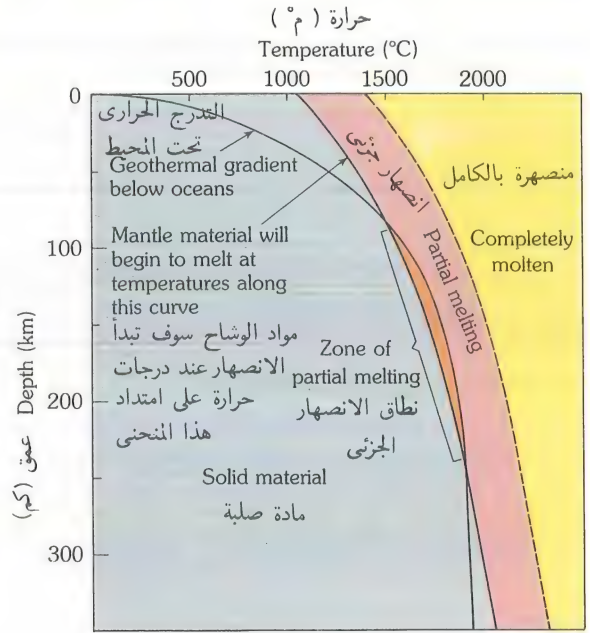
الجزر البركانية مثل الجزر الأليوتشية التى تقع على أطراف المحيطات. وقد وجد أن قليلا منها فقط يقع في البراكين التى توجد في الأحواض العميقة للمحيطات. هذا بالاضافة الى أن معظم البراكين النشطة التى تخرج صهيرا أنديسيتيا تقع في مناطق قارية أو أقواس الجزر المحاذية للخنادق المحيطية العميقة. تذكر أن الخنادق المحيطية هى الأماكن التى تغوص فيها كتل من القشرة المحيطية الى اسفل لتصل الى الجزء العلوى من الوشاح.

وعندما يصل الغلاف الصخرى المحيطى البارد الى عمق حوالى 125 كيلومترا، تحدث عملية الانصهار. وينتج عن انصهار صخور البازلت المحمل بطبقات من الرسوبيات، صهير ذو تركيب أنديسيتى. وبعد انصهار كمية مناسبة يطفو هذا الصهير الى أعلى لأنه أقل كثافة من الصهارة المحيطية به. ومن أمثلة هذه العملية المستمرة تكون براكين جبال الأنديز التى اشتق منها اسم الأنديسيت.

وبالمثل فان بعض الصهير الجرانيتى قد ينشأ عند منطقة الغوص. ومن المعتقد بأن المواد الأم هى عبارة عن رواسب قمت تجويتها فوق اليابسة ونقلها الى مناطق غوص الألواح. وتحتوى هذه الرسوبيات المحمولة فوق الألواح

بأن البقع الساخنة هذه تقع تحت هاواي وتحت آيسلندا وربما كانت موجودة في الماضي تحت مرتفع كولومبيا.

وعلى العموم تخرج اللابة والرماد جرانيتية التركيب من فتحات تقع الى جانب اليابسة من حواف القارات. وهذا يعطى الانطباع بأن انصهار القشرة القارية قد يكون هو أحد العمليات المسؤولة عن نشأة هذا النوع من الصهير المشبع بالسليكا. ولكن ما هي الطريقة التي تسبب انصهار كميات كبيرة من مواد القارات؟ يقترح أحد الافتراضات أن كتلة سميكة من القشرة القارية تقع أحيانا فوق لسان صاعد للصحير أى فوق بقعة ساخنة. وبدلا من وصول الصهير الى السطح لينتج انسكابات من اللابة البازلتية، مثلما حدث في مناطق بالمحيط الهادى، كجزر هاواي مثلا، فإن الصهير في اللسان الصاعد يستقر في أعماق الأرض. وفي هذه الحالة ينتج عن استيعاب انصهار صخور المنطقة المجاورة المصحوب بعمليات التبرّ التجزئى، تكوّن صهير ثانوى غنى بالسليكا يصعد ببطء الى أعلى. وتستمد الكتلة الصاعدة حرارتها من النشاط المستمر للبقعة الساخنة، مما يساعد على صعودها الى أعلى. وقد يكون ما حدث في منطقة منتزه ييلوستون ناتج عن مثل هذا النشاط. ورغم أن نظرية حركية الألواح قد أجابت على عدة أسئلة كانت تقلق علماء البراكين لعشرات السنين، فإن عددا جديدا من الأسئلة بدأ يطرح نفسه. ومن هذه الأسئلة مثلا: لماذا يقع انتشار قاع البحار في بعض المناطق دون غيرها؟.. كيف تنشأ البقع الساخنة؟.. هذان السؤالان فقط من بين عدد من الأسئلة التي لا يوجد لها اجابات حتى الآن.



شكل 4 - 26

منحنى نموذجي للمنحدر الحرارى الأرضى ودرجة انصهار الصخور وذلك لتوضيح سبب الانصهار الجزئى في الغلاف الوهن.

توجد على حالة منصهرة. ويوضح شكل 4 - 26 تدرج الحرارة الأرضية ومنحنى الانصهار الذى يحسب حسابا لهذا النطاق من الانصهار الجزئى. فاذا كانت هذه الظروف موجودة فعلا فقد يحتوى النطاق الذى يقع من عمق 100 الى 250 كيلومترا على بعض الصهارة. ومن هذه الجيوب المنصهرة المسماة البقع الساخنة، يعتقد بأن ألسنة من الصهير تصعد الى أعلى، وغالبا ما تصل الى سطح الأرض. ويعتقد

أسئلة

للمراجعة :

- 1 - اذكر ثلاثة عوامل تحدد طبيعة الفوران البركاني مبينا ما هو دور كل منها؟
- 2 - لماذا يعتبر البركان الذى يتغذى من صهير شديد اللزوجة أكبر خطرا من البركان الذى يتغذى من صهير شديد السيولة؟
- 3 - ما الفرق بين لابة الباهو هو ولابة الآه آه؟
- 4 - اذكر الغازات الرئيسية المتحررة اثناء فوران البراكين.
- 5 - كيف تختلف القنابل البركانية عن كتل الفتات الفلذ بركانى؟
- 6 - قارن وفرق بين الأنواع الرئيسة للبراكين من حيث الحجم والشكل وطرية الفوران.
- 7 - اذكر بركانا مشهورا لكل نوع من الأنواع الثلاثة.
- 8 - باختصار، قارن بين فوران بركان كيلاو وا وفوران بركان بارىكوتين.
- 9 - ميز بين نوع الدمار الذى احده فوران بومبى والدمار الناشىء عن فوران سانت بيير.
- 10 - صف نشأة بحيرة كريتير. قارن ذلك بالكالديرا التى تكونت خلال فوران كراكاتوا.
- 11 - ما هى الصخرة السفينة (شب روك) وكيف تكونت؟
- 12 - كيف يختلف الفوران الذى أدى الى بناء مرتفع كولومبيا عن الفوران الذى ينشئ القمم البركانية؟
- 13 - أين ينشأ عادة فوران الشروخ؟
- 14 - ما هو الانصهار الجزئى؟ وما هى العوامل التى تؤثر عادة على درجة انصهار الصخور؟
- 15 - حيث أن الصهير البازلتى ينشأ عند أعماق كبيرة. لماذا يصل غالبا الى سطح الأرض بدلا من تبلره فى أعماق تحت سطحها؟
- 16 - تحت أى الظروف ينشأ الصهير الأنديسى؟ وكذلك الصهير الجرانيتى؟
- 17 - أين ينشأ الصهير البازلتى؟

الكلمات الدالة :

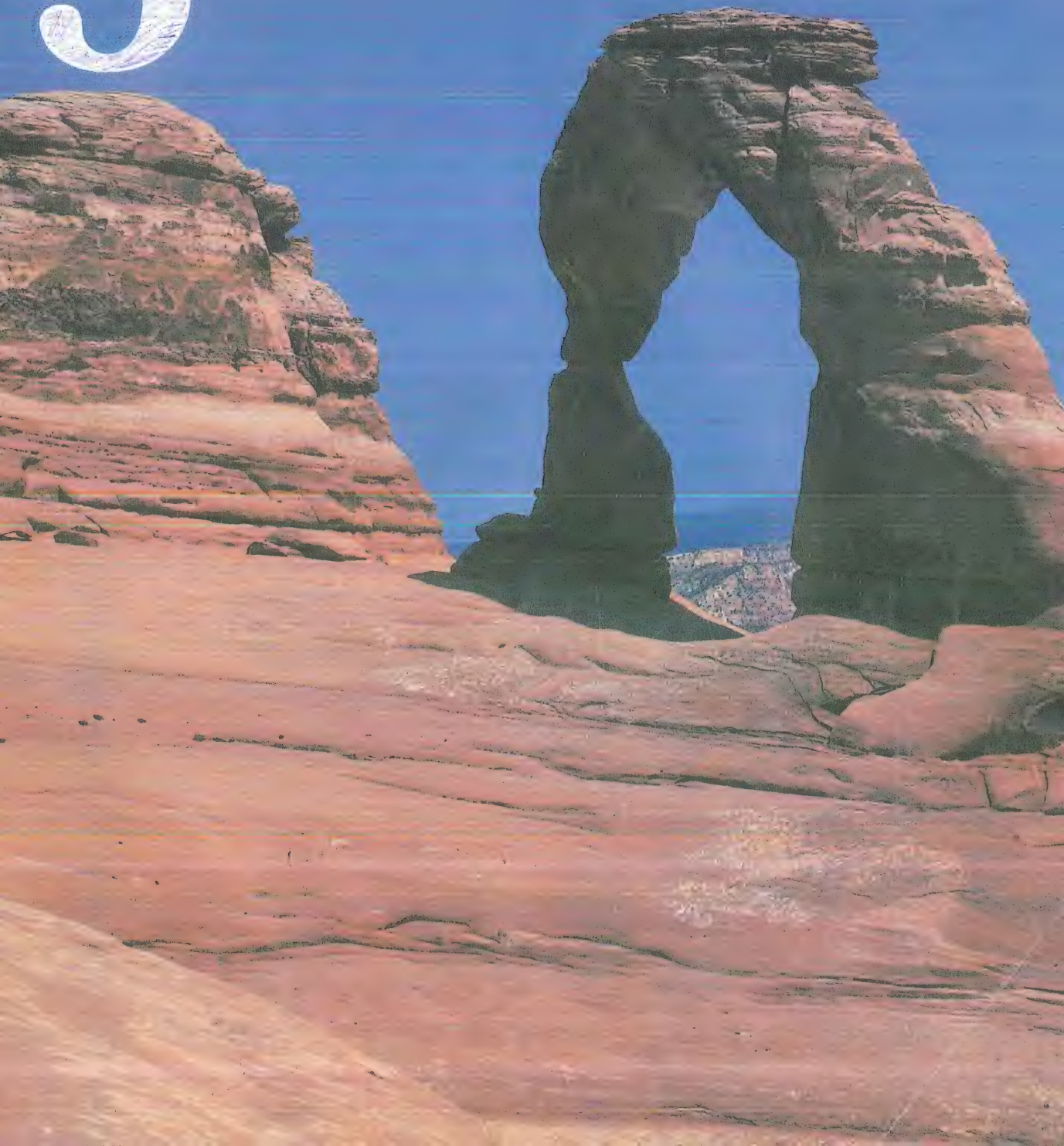
crater	فوهة بركانية	fumarole	أنبوب المدخنة
lava dome	قبة اللاية	partial melting	انصهار جزئي
caldera	كالديرا	flood basalt	بازلت الفيضان
aa lava	لاية الآه آه	volcano	بركان
pillow lava	لاية الوسائد	shield volcano	بركان دروع
viscosity	لزوجة	hot spot	بقعة ساخنة
volcanic neck	رقبة بركان	geothermal gradient	تدرج الحرارة الأرضية
nuee ardente-glowing	عاصفة وهاجة	pyroclastic flow	طفوح فلذ بركانية
cinder cone avalanches	مخروط رماد	fissure eruption	فوران شرخي
parasitic cone	مخروط متطفل		
composite cone	مخروط مركب		
pyroclastic material	مواد فلذبركانية		

5



التجوية والترربة

5



التجوية

- التجوية الميكانيكية.
- التجوية الكيميائية
- معدلات التجوية

التربة

- قطاع التربة
- العوامل المتحكمة في تكوّن التربة
- أنواع التربة

التجوية

فالتركيز الأول في هذا الفصل هو على التجوية والنواتج الناشئة عنها. ولكن لا يمكن فصل التجوية بسهولة عن العمليتين الآخرين لأنه عندما تجزى التجوية الصخور فان ذلك يساعد عمليات التعرية وتبدد الكتل وبالمثل فان نقل المواد عن طريق التعرية وتبدد الكتل يؤدي الى زيادة التحطم والتحلل في الصخور.

تعرض كل المواد للتجوية. اعتبر مثلا المخلوط المصنّع للعجينة الذي يشبه الى حد كبير الرصيف. فالرصيف الجديد المصنوع من عجينة التراب له شكل ومظهر أملس نير. وبعد مرور سنوات قليلة فان نفس الرصيف سوف يظهر متقشرا، متشققا وخشنا مع وجود حصى بارزة على السطح. ولو كانت هناك شجرة مجاورة لجرفت وقوست عروقها الرصيف. فالتجوية تحدث عندما تتكسر أو تتفتت الصخور طبيعيا تلقائيا أو ذاتيا وتتحلل كيميائيا. وتسم التجوية الميكانيكية بواسطة قوى طبيعية تفتت الصخور وتجزئها الى قطع أصغر فأصغر دون أن تغير في تركيبها الكيميائي. أما التجوية الكيميائية فانها تشمل تغير التركيب الكيميائي للصخور ويمكن ضرب مثال بسيط لتوضيح الفرق بين هاتين الطريقتين من التجوية باستعمال قطعة من الورق. حيث يمكن تفتيت الورقة بتقطيعها الى قطع أصغر فأصغر كما يمكن أن تحلل الورقة باسعال النار فيها واحتراقها.

لماذا تتجوى الصخور.. التجوية ببساطة هي استجابة مواد الأرض للبيئة المتغيرة. فمثلا، بعد ملايين السنين من التأثيرا الحركية والتعرية، فان الصخور التي تعلو جسما ناريا مقتحما كبير الحجم، قد تنزع عنه ليتكشف على السطح. فهذه الكتلة من الصخور المتبلّرة التي نشأت في بيئة ذات حرارة وضغط عاليين على عمق عدة كيلومترات تحت الأرض، هي الآن معرضة لبيئة سطحية مغايرة تماما وغريبة نسبيا. واستجابة لذلك فان هذه الكتلة الصخرية سوف تغير تدريجيا حتى تصل مرة أخرى الى تعادل وتوازن مع البيئة الجديدة. وهذا التغير للصخور هو الذي نسميه بالتجوية. وفي الفقرات التالية سوف نناقش مختلف أوجه

تبدو الأرض من نظرة عابرة أنها لا تتغير ولا تتأثر بمرور الزمن. ولهذا السبب فانه قبل 200 سنة كان يعتقد معظم الناس بأن الجبال والبحيرات والصحارى هي ملامح ثابتة للأرض وأن عمرها لا يزيد عن بضع آلاف من السنين. ولكننا نعلم في الوقت الحاضر بأن الجبال لا بد أن تخضع في النهاية للتجوية والتعرية ثم يفضى بها الى البحر. وأن البحيرات سوف تملؤها الرواسب أو تجرفها الوديان وأن الصحارى تتكون وتختفى كلما حدثت تغيرات طفيفة في المناخ. فالأرض في الحقيقة هي جسم دائم الحركة. إذ ترفع البراكين والنشاطات الحركية أجزاء من سطح الأرض، بينما تعمل القوى المعاكسة دائما على نقل المواد من المناطق المرتفعة الى المناطق المنخفضة. وتشمل العمليات الأخيرة ما يلي:-

- 1- التجوية - تحطم وتحلل الصخور عند أو قرب سطح الأرض.
- 2- التعرية - احتواء ونقل المواد الناتجة من عمليات التجوية المختلفة عن طريق ناقل متحرك على سطح الأرض، عادة ما يكون الماء والرياح والثلوج.
- 3- تبدد الكتل - انتقال مواد الصخور الناتجة عن عمليات التجوية المختلفة الى أسفل المنحدرات تحت تأثير الجاذبية الأرضية وبدون عامل متحرك.

القوس المش، منتزه الأقواس، نصب تذكاري لقوى تجوية الصخور.

دسر الصقيع: يعتبر تفاوت التجميد والتدفئة من أهم عمليات

التجوية الميكانيكية. فللماء خاصية فريدة وهى تمدده بمقدار 9

% عند التجميد. وتحدث هذه الزيادة فى الحجم لأنه عندما

يتجمد الماء فان جزيئاته ترتب نفسها فى هيكل بلورى

مفتوح. ونتيجة لذلك فعندما تتجمد المياه تحدث ضغطا الى

الخارج. ويمكن التأكد من ذلك اذا ما ملأنا اناء بالماء ثم

جعدناه، فاذا لم يوجد فراغ كاف بالاناء فانه سوف يتحطم.

وفى الواقع، تسرب المياه الى الشقوق والفراغات التى

فى الصخور، وعند تجمدها تتمدد وتدرس الصخور وتسمى

هذه العملية بدسر الصقيع (شكل 5 - 2). ويحدث معظم

دسر الصقيع فى المناطق الجبلية، حيث توجد دورة يومية

للتجمد والتدفئة. وهنا تتعرض قطاعات صخرية للدرس، وقد

تهوى مكونة أكوما كبيرة تسمى منحدرات ركامية، والتى

توجد عادة فى قدم البروزات الصخرية (شكل 5 - 3). كما

يسبب دسر الصقيع أيضا كثيرا من الدمار للطرق فى المناطق

الباردة وخصوصا فى بداية فصل الربيع عندما تستمر دورة

التجميد والتدفئة. فكثيرا ما تنشأ الحفر تحت قضبان السكك

الحديدية وربما تتداعى الحفر وتعود القضبان تحت تأثير هذه

القوى المدمرة.

تخفيف الحمل: عندما تتعرض الأجسام النارية الكبيرة،

خصوصا تلك المكونة من الجرانيت، الى التعرية، تبدأ

صفحات منه فى الانفصال. وهذه الطريقة التى تنتج عنها

قشور مثل قشور البصل تسمى بالتوريق. ويعتقد بأن تكونها

يعزى جزئيا الى انخفاض الضغط عندما تنزاح الصخور

التي تعلوها. فالطبقات الخارجية تتمدد اكثر وتتفصل عن

بقية الجسم الصخرى (شكل 5 - 4). وعادة ما تكون

الشقوق التى تفصل كل طبقة قريبة من بعضها عند سطح

الأرض، ولهذا فان سمك الطبقات الناشئة لا يزيد عن متر.

وعلاوة على ذلك فان التشقق يحدث موازيا للشكل

السطحي ويعطى الجسم الصخرى المتآكل شكلا مقببا.

ويسبب استمرار التجوية فى النهاية فى انفصال القشر التى

كوتتها عملية التوريق بحيث تنزاح عن هذه الكتل

التجوية الميكانيكية والكيميائية. ورغم أننا سنتناول هاتين العمليتين على انفراد، تذكر دائما أنهما تعملان مجتمعتين.

تزيد مساحة السطح المعرض للتجوية الميكانيكية

التجوية الميكانيكية

عندما يتعرض الصخر الى التجوية الميكانيكية فانه الخشنة

يتجزأ الى قطع أصغر فأصغر. وتحتفظ كل قطعة بخصائص

المادة الأصلية. ليكون تجمعا لقطع صغيرة كثيرة نتجت عن

قطعة واحدة كبيرة. ويوضح شكل (5 - 1) كيف أن تفتت

الصخر الى قطع أصغر يزيد من المساحة السطحية المتعرضة

للتغير الكيميائي. وتحدث حالة مشابهة عندما يذوب السكر

فى الماء. ففي هذه الحالة سوف تذوب البلورة الكبيرة ببطء

أكثر من حجم مساو من الحبيبات الصغيرة بسبب الفرق فى

المساحة السطحية. وبذلك فان تكسير الصخور الى قطع

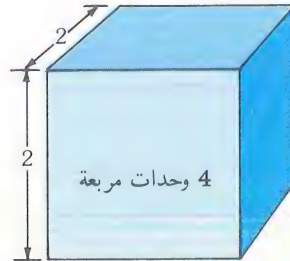
صغيرة بواسطة التجوية الميكانيكية من شأنه أن يزيد من

المساحة السطحية المتعرضة للتغيرات الكيميائية.

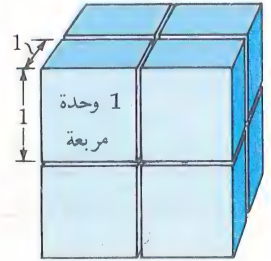
وفى الواقع، هناك أربع عمليات طبيعية تؤدي الى تقطيع

الصخور: دسر الصقيع، والتمدد الناتج عن تخفيف الحمل،

والتمدد الحرارى، والنشاط الحياتي.



$$\begin{array}{r} 4 \text{ وحدات مربعة} \times \\ 6 \text{ جوانب} \times \\ = 24 \text{ مكعب} \\ \text{وحدة مربعة} \end{array}$$



$$\begin{array}{r} 1 \text{ وحدات مربعة} \times \\ 6 \text{ جوانب} \times \\ = 6 \text{ مكعبات} \\ \text{وحدة مربعة} \end{array}$$

شكل 5 - 1

تزيد التجوية الميكانيكية من المساحة السطحية المتاحة للتفاعل الكيميائي.

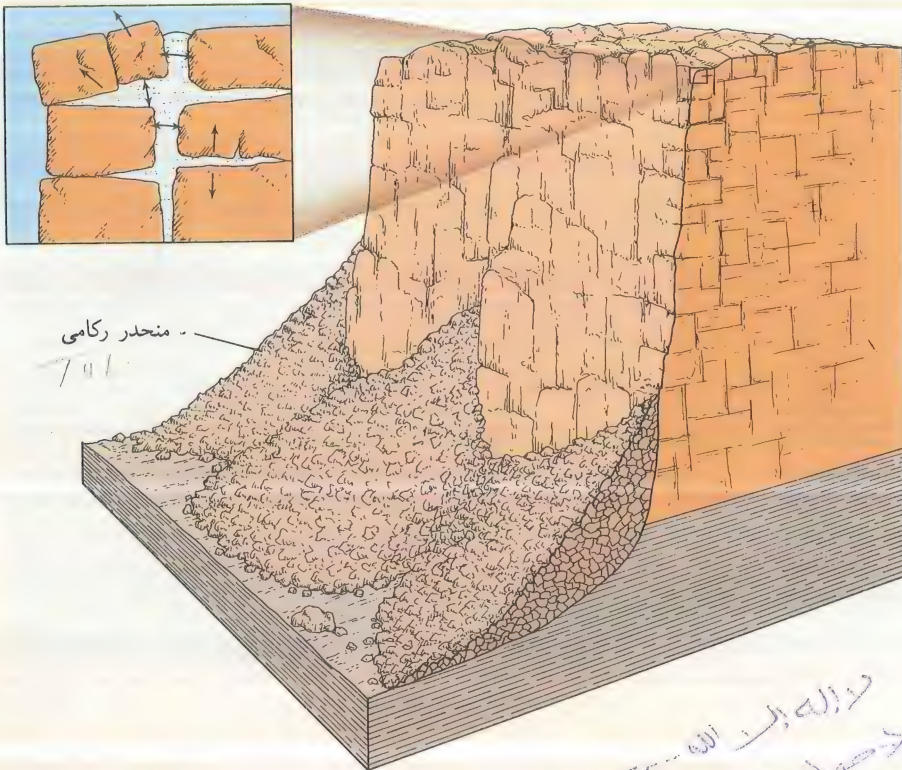
الآخر ينشأ عن القوى الحركية المصاحبة لبناء الجبال. وتسمى مثل هذه الشقوق فواصل. والفواصل هي من التركيبات الهامة التي توجد في الصخور والتي تسمح بمرور الماء الى أعماق لتبدأ عملية التجوية قبل وصول الصخر الى سطح الأرض بوقت طويل.

التمدد الحرارى يعتقد بأن التغيرات اليومية في درجة الحرارة تعمل على اضعاف مقاومة الصخور للتعرية وعلى الأخص في المناطق الجافة ذات الحرارة المرتفعة، حيث يزيد الفرق في درجة الحرارة اليومية عن 30°C . وتسخين الصخور بسبب تمددها ثم تبريدها بعد ذلك يسبب انكماشها. كما ان تعاقب الانتفاخ والانكماش في المعادن ذات المعدلات المختلفة، يحدث عنه بعض الضغط على القشرة الخارجية للصخور. ورغم أنه يسود الاعتقاد بأهمية هذه العملية في تفتيت

الصخرية الكبيرة. وهذه التراكيب تعرف بقباب التقشر. ومن الأمثلة المعروفة لقباب التقشر هي إستون ماونتن بولاية جورجيا، هاف دوم، وليبرتي كاب، في منتزه اليوسيميتى بالولايات المتحدة (شكل 5 - 5).

وتبين لنا أنفاق المناجم كيف تتصرف الصخور عندما يزاح الضغط المحيط بها. ومن المعروف أن طبقات كبيرة من الصخور قد تنفجر منفصلة عن جدران الأنفاق الجديدة في المناجم بسبب انخفاض الضغط وعلاوة على أن التشقق يحدث موازيا لقاع المقاطع الصخرية عندما تزاح كمية ضخمة من الكتل، فان أدلة من هذا النوع تعزز القول بأن عمليات تخفيف الحمل هي سبب في التوريق.

ولو أن كثيرا من التشقوق يسببها انخفاض الضغط الا أن بعضها ينشأ عن التقلص عند تبلر الصهير، وبعضها



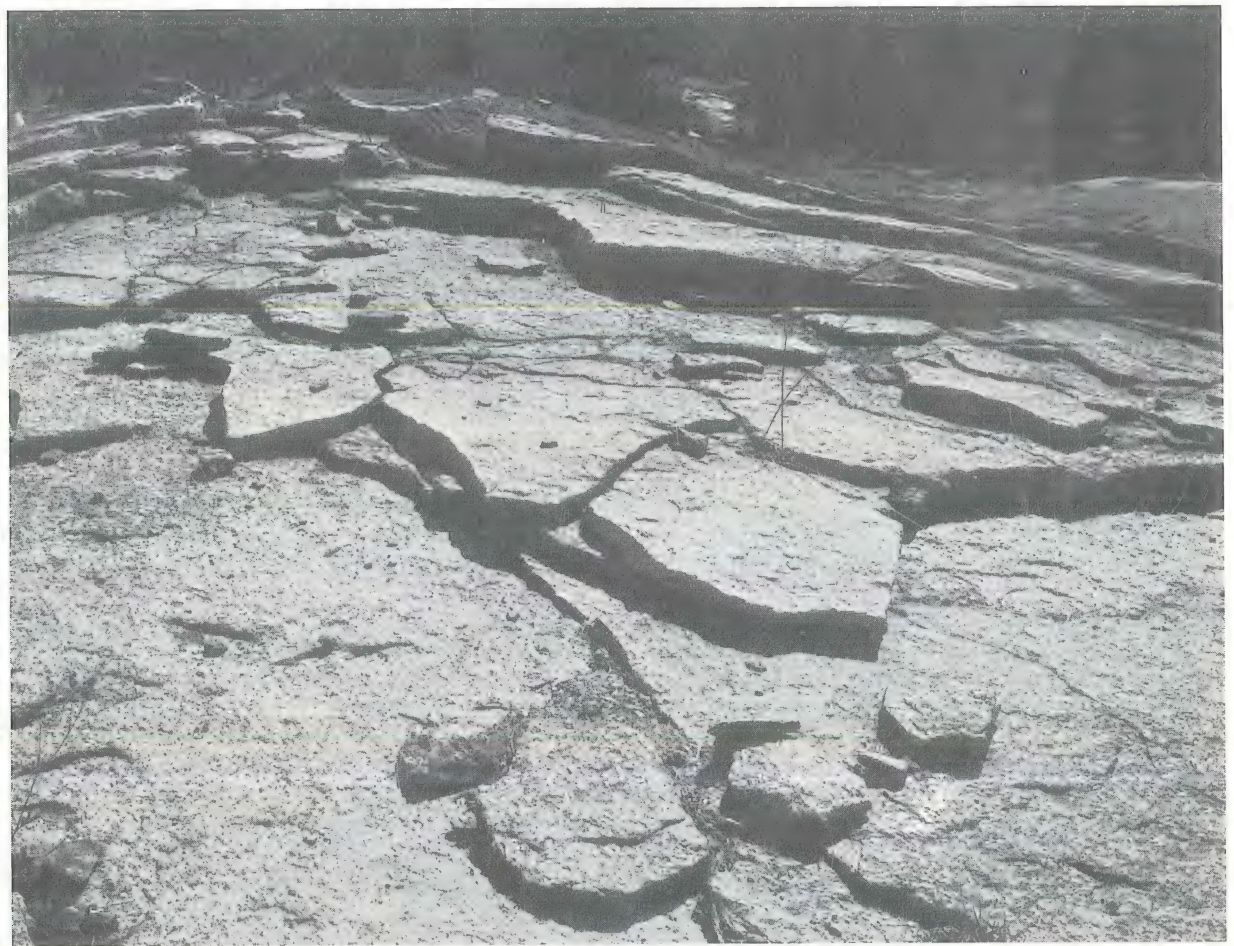
شكل 5 - 2

دسر الصقيع

عندما يتجمد الماء فانه يتمدد ويضغط بقوة كافية لكسر الصخور.



شكل 5 - 3
منحدر ركامى مكون من القطع
المجواة عند قاعدة جدار جبلى.



شكل 5 - 4
في الصورة عملية تقشر سببه تمدد الصخور البلورية عندما تزيد التعرية تقل الصخور التي تعلوها. تكثر
الشقوق الموازية للشكل السطحي في المناطق التي بها كتل جرانيتية مقتحمة.

على ذلك فان سرعة التبريد بواسطة الأمطار الصحراوية يمكن أن تساعد هذه العملية. ويحتاج الموضوع الى معلومات اضافية قبل الاجابة القطعية بشأن تأثير التغيرات الحرارية على تفتت الصخور.

النشاط الحياتي: تتم التجوية أيضا بواسطة نشاط النباتات والحيوانات الحافرة في التربة وبواسطة الانسان. وتنمو جذور النباتات في فواصل الصخور عند بحثها عن المعادن الذاتية. وعندما تكبر الجذور فانها تعمل على فلق الصخور وتساعد الحيوانات الحافرة في زيادة التفتت ونقل المواد الى السطح، حيث تتعرض للتجوية الطبيعية والكيميائية. هذا بالإضافة الى أن معظم الكائنات الميتة ينتج عنها أحماض عند تحللها

الصخور، الا أن التجارب العملية لم تفلح في تأييد هذه الفكرة. ففي إحدى التجارب سخنت الصخور الى درجة أعلى بكثير من الحرارة العادية التي يتعرض لها سطح الأرض، ثم بردت. وتم تكرير هذه العملية عدة مرات لتمثل مئات السنين من التجوية ولكن الصخور أظهرت تغيرا طفيفا.

وبالرغم من ذلك فان الحصى في المناطق الصحراوية يظهر أدلة قطعية لتتشم ناشئ عن تغيرات في درجة الحرارة (شكل 5 - 7). ويقترح الحل المطروح لهذه المعضلة أن الصخور لا بد أن تمر بحالة ضعف من جراء التجوية الكيميائية قبل أن تتشم بواسطة النشاط الحراري، وزيادة



شكل 5 - 5

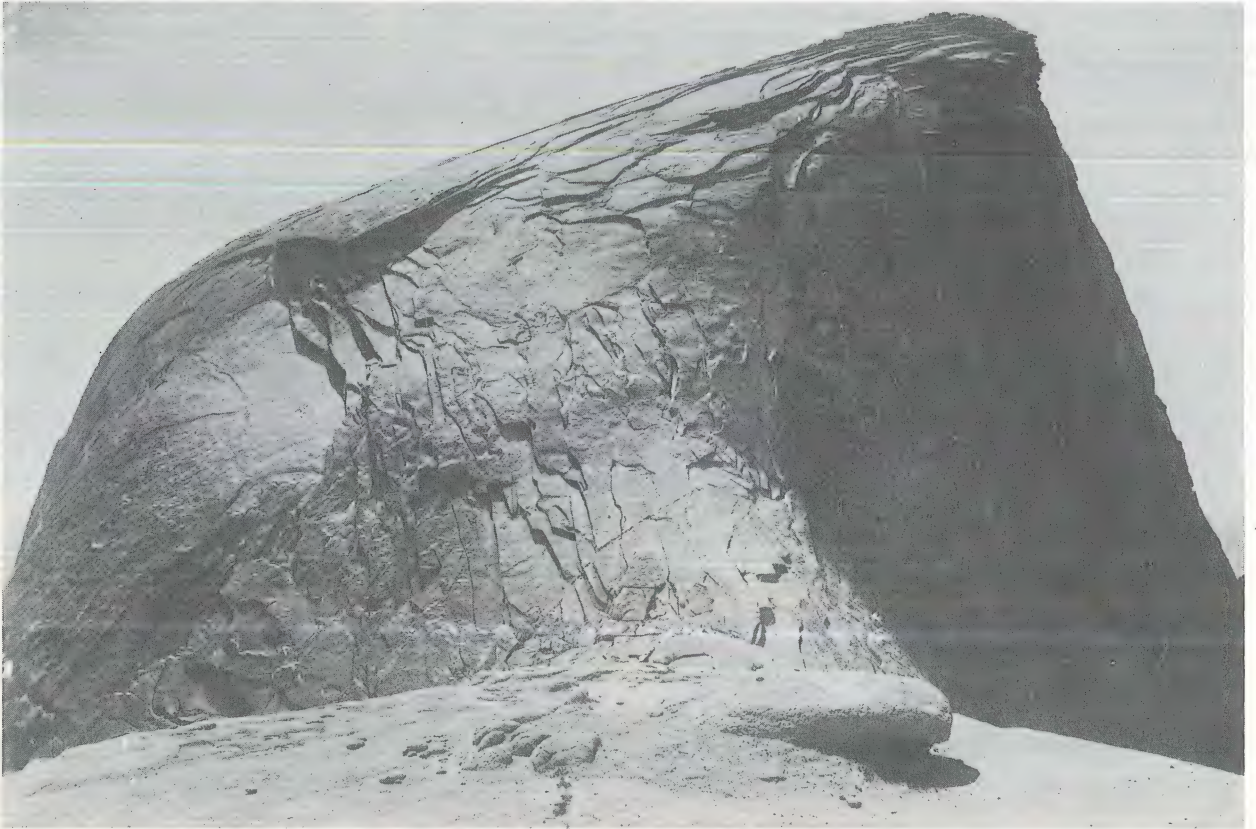
هاف دوم (القبة النصفية) وهي عبارة عن قبة تتشقق تقع في منتزه اليوسيميتي.

على ذلك فان سرعة التبريد بواسطة الأمطار الصحراوية يمكن أن تساعد هذه العملية. ويحتاج الموضوع الى معلومات اضافية قبل الاجابة القطعية بشأن تأثير التغيرات الحرارية على تفتت الصخور.

النشاط الحيائى: تتم التجوية أيضا بواسطة نشاط النباتات والحيوانات الحافرة فى التربة وبواسطة الانسان. وتنمو جذور النباتات فى فواصل الصخور عند بحثها عن المعادن الذاتية. وعندما تكبر الجذور فانها تعمل على فلق الصخور وتساعد الحيوانات الحافرة فى زيادة التفتت ونقل المواد الى السطح، حيث تتعرض للتجوية الطبيعية والكيميائية. هذا بالإضافة الى أن معظم الكائنات الميتة ينتج عنها أحماض عند تحللها

الصخور، الا أن التجارب المعملية لم تفلح فى تأييد هذه الفكرة. ففي احدى التجارب سخنت الصخور الى درجة أعلى بكثير من الحرارة العادية التى يتعرض لها سطح الأرض، ثم برّدت. وتم تكرير هذه العملية عدة مرات لتمثل مئات السنين من التجوية ولكن الصخور أظهرت تغيرا طفيفا.

وبالرغم من ذلك فان الحصى فى المناطق الصحراوية يظهر أدلة قطعية لتهشم ناشئ عن تغيرات فى درجة الحرارة (شكل 5 - 7). ويقترح الحل المطروح لهذه المعضلة أن الصخور لا بد أن تمر بحالة ضعف من جراء التجوية الكيميائية قبل أن تتهشم بواسطة النشاط الحرارى، وزيادة



شكل 5 - 5

هاف دم (القبة النصفية) وهى عبارة عن قبة تقشر تقع فى منتزه اليوسيميتى.



شكل 5 - 6

منظر جوى لمنطقة مكتظة بالفواصل الصخرية تقع في كانيون لاندز بجنوب شرقى يوتا غربى أمريكا.

والمجالد - عادة ما تناقش بمعزل عن التجوية الميكانيكية، إلا أنها مهمة كذلك. لأن هذه العوامل المحركة لا تنفك عن التفتيت المستمر لقطع الصخور أثناء نقلها.

ما يزيد من التجوية الكيميائية. وحيث تُقلع الصخور للبحث عن المعادن أو لبناء الطرق فإن نشاط الانسان يلاحظ بوضوح، ولكن هذا النشاط يحتل المرتبة الثانية على المستوى العالمى بعد نشاط الحيوانات الحافرة في عمليات نقل المواد الأرضية.

ورغم أن عوامل التعرية - الرياح والمياه الجارية

التجوية الكيميائية
تغير تركيب الكيميائي
تشمل التجوية الكيميائية عمليات معقدة تغير من

الى ما يلى: - رغم أن هذا المركب يحتفظ بتعادل شحناته الكهربائية فإن كلا من أيوناته يحتفظ بشحنته. وبالإضافة الى ذلك فان جزيئات الماء المحيطة بكل أيون لها أقطاب، وهذا يعنى أن الطرف الذى به ذرة الأكسجين يحمل شحنة سالبة صغيرة والطرف الذى به ذرتى الهيدروجين يحمل شحنة موجبة صغيرة. فعندما تصطدم جزيئات الماء ببلورة الهاليت، فان نهاياتها السالبة تتصل بأيونات الصوديوم الموجبة الشحنة وتشتتها (شكل 5 - 9). وتعمل القوة الشادة للماء على جذب أيونات الصوديوم من النسيج البلورى. كذلك الحال بالنسبة لأيونات الكلور فهى أيضا تنقل بواسطة النهايات الموجبة لجزيء الماء.

ولو أن معظم المعادن تذوب فى الماء، الا أن وجود كمية ضئيلة من الأحماض فى الماء يزيد بشكل ملحوظ القوة المشتة للمياه (فالمحلول الحمضى يحتوى على أيون

البنية الداخلية للمعادن بواسطة اضافة أو حذف لبعض العناصر. وخلال هذا التغير، تتحلل الصخور الاصلية الى مواد هى فى تعادل وتوازن مع البيئة السطحية، وهذا فان نواتج التجوية الكيميائية لا يطرأ عليها أى تغير طالما بقيت فى بيئتها الجديدة.

وتعتبر المياه أهم عوامل التجوية الكيميائية، ورغم عدم نشاط المياه النقية الا أن اضافة كميات قليلة من المواد الذائبة يجعلها نشطة جدا. والعمليات التى تحلل فيها المياه الصخور هى عمليات الذوبان والتأكسد والخلط.

الذوبان: لعل الذوبان من أقرب أشكال التحلل للمشاهدة. وكما يذوب السكر فى الماء فان المعادن أيضا تذوب فى الماء بنفس الطريقة. وأكثر المعادن ذوبانا فى الماء هو الهاليت (ملح الطعام). وهو مركب من أيونات الصوديوم وأيونات الكلور كما سبق شرحه. ويرجع سبب الذوبان السريع للهاليت فى الماء



شكل 5 - 8

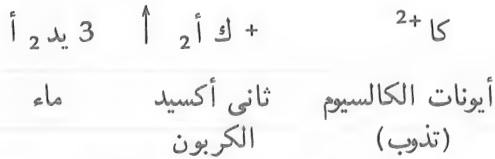
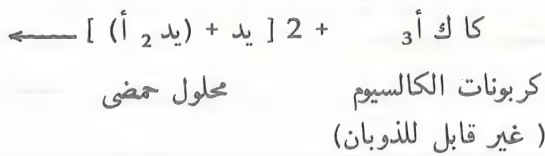
يعمل دسر الجذور على توسيع الشقوق فى الصخور ويساعد على زيادة التجوية الميكانيكية.



شكل 5 - 7

كانت هذه القطع الصخرية يوما ما جرولاً مدبورا فى مجرى مائى ولكن تعرضها للمناخ الصحراوى الحار جعلها تتفتت.

الهيدروجين يد +). فمثلا معدن الكالسيت كاك أ₃ الذى يشكل مادة حجارة البناء (الرخام والحجر الجيرى) من السهل جدا اذابته بأقل المحاليل الحمضية تركيزا: -

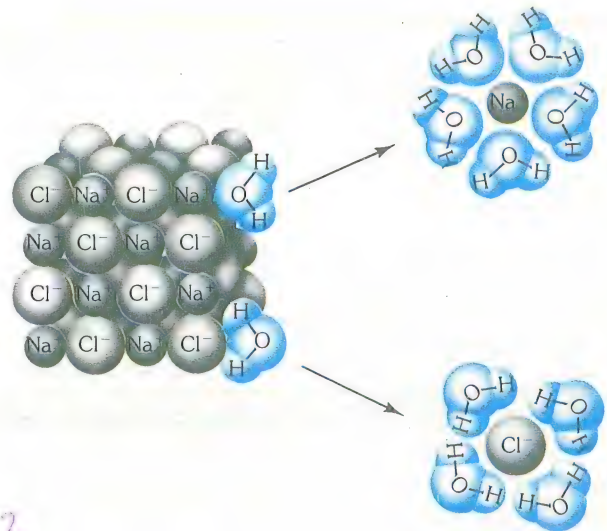
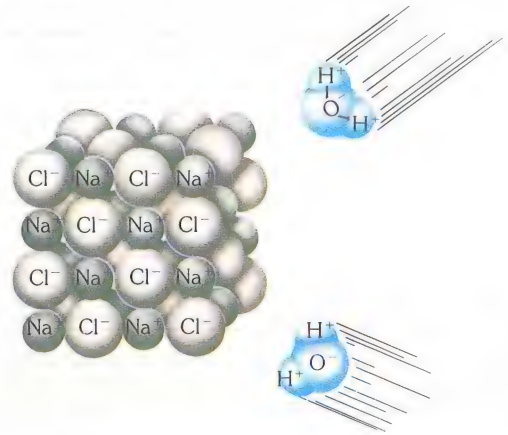
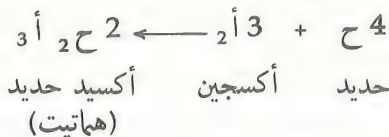


وخلال هذه العملية، تتحول كربونات الكالسيوم غير القابلة للذوبان الى نواتج ذائبة. وفي الطبيعة، خلال آلاف السنين، تذوب كميات كبيرة من الحجر الجيرى فى الماء وتحمل بواسطة المياه الجوفية. ومما يدل بوضوح على هذا النشاط وجود أعداد هائلة من الكهوف الجوفية فى كل المناطق التى بها صخور جيرية. والنصب التذكارية المصنوعة من الرخام أو الحجر الجيرى هى الأخرى تتعرض للتآكل بواسطة الأحماض وخصوصا فى المناطق الصناعية التى يكون فيها الهواء ملوثا وملبدا بالدخان.

وتبقى المواد الذائبة من جراء هذه التفاعلات فى مياهنا الجوفية. هذه الأيونات الذائبة هى نفسها المسئولة على المياه العسرة الموجودة فى عدة مناطق. ومن الطبيعى أن تكون هذه المياه العسرة غير مرغوبة، لأن الأيونات النشطة بها تتفاعل مع الصابون لتنتج مواد لا تذوب فى الماء، مما يضعف من قدرة الصابون على إزالة الأوساخ.

ولحل هذه المشكلة عادة ما يتم استعمال مادة ملينة للمياه لازالة هذه الأيونات وذلك فى كثير من الأحيان عن طريق استبدالها بأيونات أخرى لا تتفاعل كيميائيا مع الصابون.

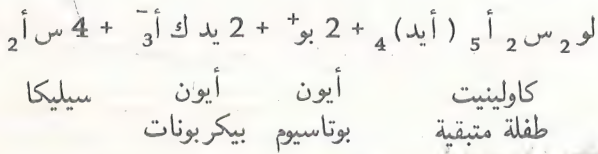
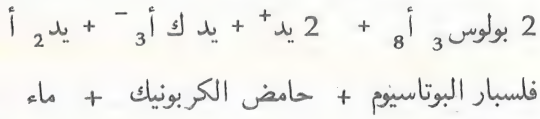
هو علم اتحاد الأكسجين مع الحديد
التأكسد: يحدث الصدأ عندما يتحد الأكسجين مع الحديد ليكون أكسيد الحديد وذلك كما يلي: -



شكل 5 - 9

توضيح لطريقة ذوبان ملح الطعام فى الماء (أ) - تتم مهاجمة أيونات الصوديوم والكلور بواسطة جزيئات الماء ذات القطبين. (ب) - تحاط هذه الأيونات بعد اقتلاعها بعدد من جزيئات الماء الموضحة فى الشكل.

العضوية وتحملها المياه عند تسربها في التربة. وفي الماء يتأين حامض الكربونيك مكونا أيونات الهيدروجين (يد⁺) وأيونات البيكربونات (يدك⁻ أ₃). ولكي نوضح عملية الحلمأة في الصخور في وجود حامض الكربونيك، سوف نتناول التجوية الكيميائية للجرانيت، الذي يعتبر من أوفر صخور القشرة القارية. أنت تعلم أن الجرانيت يحتوى أساسا على معدني المرو وفلسبار البوتاسيوم. وتجوية فلسبار البوتاسيوم الذي يحتوى عليه الجرانيت هي كما يلي:-



محلول

ففي هذا التفاعل، يهاجم أيون الهيدروجين (يد⁺) أيون البوتاسيوم (بو⁺) ويحل محله في هيكل الفلسبار. وبذلك يختل توازن النظام البلوري. وبعد تحرر أيون البوتاسيوم يصبح متوفرا لتغذية النباتات في التربة أو مكونا للملح بيكربونات البوتاسيوم (بو يدك⁻ أ₃) المذاب. ويمكن أن يدخل في تركيب معادن أخرى أو تحمله المياه الى المحيطات.

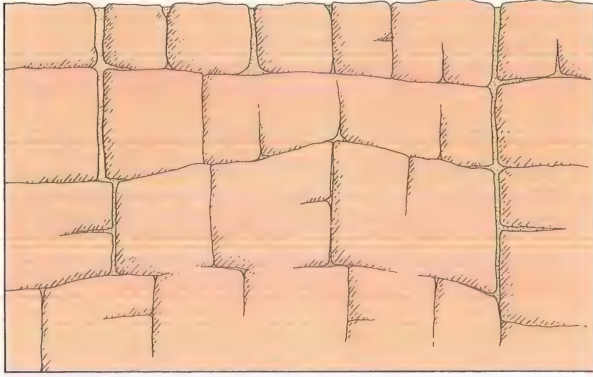
ويعتبر معدن الكاولينيت من أكثر النواتج وفرة التي تخلفها عملية التحلل الكيميائي لفلسبار البوتاسيوم. وهو يتكون نتيجة اضافة أيونات الهيدروكسيل الى النسيج البلوري. ومعادن الطفلة هي النواتج النهائية للتجوية وهي بطبيعتها مستقرة كيميائيا تحت الظروف السطحية. وهذا فان معادن الطفلة تشكل نسبة كبيرة من المواد غير العضوية في التربة. وعلاوة على ذلك فان أكثر الصخور الرسوبية وفرة، وهو الحجر الطيني، هو أيضا مكون من معادن الطفلة. وخلال هذه التفاعلات يفصل جزء من السليكا من هيكل الفلسبار

ان هذا النوع من التفاعل الكيميائي، المسمى بالأكسدة، يحدث عندما يفقد أحد العناصر البعض من إلكتروناته عند التفاعل. ففي هذه الحالة نقول بأن الحديد قد تأكسد لأنه فقد الإلكترونات للأكسجين. ورغم أن الأكسدة تتقدم ببطء في البيئات الجافة الا أن وجود الماء يسرع من التفاعل.

تعتبر عملية الأكسدة مهمة في تحلل المعادن ذات التركيب الحديدي والماغنيسي مثل الأوليفين والبيروكسين والأمفيبول. فالأكسجين يتحد بسهولة مع الحديد في هذه المعادن لينتج أكسيد الحديد ذي اللون البني المحمر والمسمى هيماتيت (ح₂ أ₃). أو في بعض الحالات - هيدروأكسيد الحديد في الصدا المصفر المسمى ليمونيت [ح أ (أيد)]. وهذه النواتج هي التي تسبب لون الصدا على سطح الصخور النارية الغامقة مثل البازلت تحت تأثير التجوية. ولكن الأكسدة يمكن أن تحدث بعد تحرر الحديد من هيكل

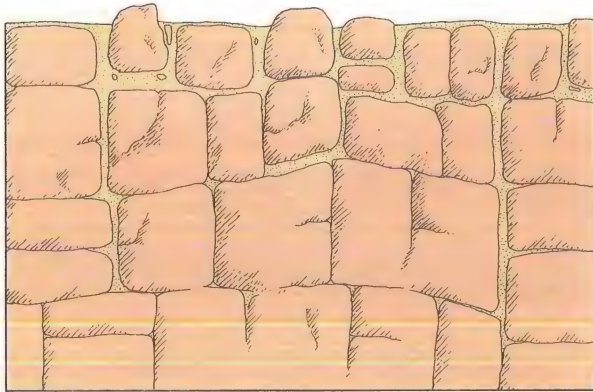
السليكات بواسطة عملية أخرى تسمى بالحلمأة. **الحلمأة:** تتحلل مجموعة السليكات، التي هي أوفر المجموعات المعدنية، بواسطة الحلمأة والتي تعني بمعناها الأعم تفاعل أى مادة مع الماء. ونظريا يمكن أن يتحلل أى معدن في وجود الماء النقي حيث أن بعض جزئيات الماء تفصل لتكوّن أيون الهيدروجين (يد⁺) النشط وأيون الهيدروكسيل (أيد⁻). فالذي يهاجم ويحل محل الأيونات الموجبة الشحنة في النسيج البلوري هو أيون الهيدروجين. وبدخول أيون الهيدروجين في الهيكل البلوري ينفرط عقد الترتيب المنتظم للذرات ويبدأ المعدن في التحلل.

وفي الطبيعة، يحتوى الماء عادة على مواد أخرى تساهم بأيونات اضافة للهيدروجين مما يعمل على الاسراع في عملية الحلمأة. ومن أهم هذه المواد، ثاني أكسيد الكربون الذي يذوب في الماء منتجا حامض الكربونيك، يد⁺ ك⁻ أ₃. وعادة يذوب بعض من ثاني أكسيد الكربون الجوى في مياه الأمطار بالاضافة الى كميات أخرى تأتي من تحلل المواد

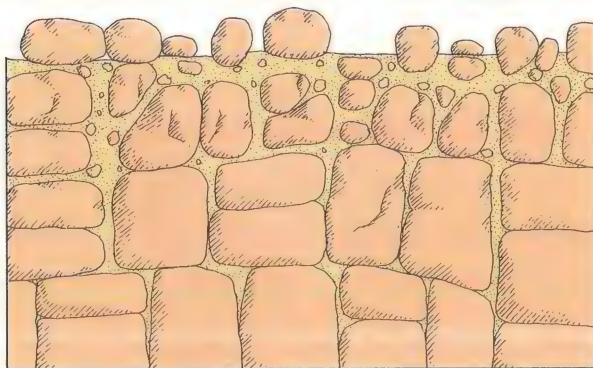


وينتقل مع المياه الجوفية. وسوف تترسب هذه السليكا الذائبة على هيئة عجيرات من الشيرت (الصوان) أو تملأ الفراغ في المواد المدفونة تحت الأرض مثل الأشجار لتنتج أخشاباً متحجرة أو تنقل الى المحيطات حيث تستعملها حيوانات مجهرية في بناء أصدافها الصلبة.

وباختصار فإن فلسبار البوتاسيوم عندما يتجوى ينتج عنه معادن طفلة متبقية. وأملاح ذائبة (بيكربونات البوتاسيوم)، وبعض السليكا التي تذوب في الماء.



أما الكوارتز (المرو) وهو المكون الثاني للجرانيت فإنه يقاوم بشدة عمليات التجوية الكيميائية. ولذلك فهو يبقى دون تأثر عندما يتعرض للأحماض الخفيفة. ونتيجة لذلك، عندما يتجوى الجرانيت تشحب بلورات الفلسبار وتتحول ببطء الى طفلة، مما يحرر حبيبات الكوارتز التي كانت محبوسة بينها، وهذه بدورها تبقى محتفظة بظهورها الزجاجي. وبالرغم من أن القليل من الكوارتز يبقى في التربة، فإن الكثير يذهب الى البحر ليصبح المكوّن الرئيسي للشواطئ الرملية، ومع الوقت يصير صخوراً رسوية تسمى الحجر الرملي.



وبين الجدول (5 - 1) قائمة بنواتج التجوية لبعض معادن السليكات الشائعة. تذكر أن معادن السليكات تشكل معظم صخور القشرة الأرضية، وأنها مكونة بصورة أساسية من 8 عناصر فقط وأثناء التجوية الكيميائية ينتج عن

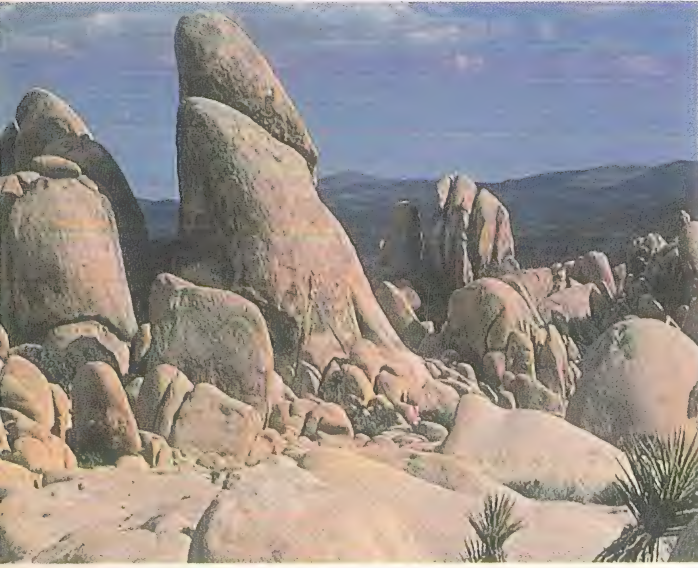
جدول 5 - 1

نواتج التجوية

المعدن	الناتج الصلب	النواتج الذائبة
مرو فلسبار أمفيبول (هورنبلند)	حبيبات كوارتز معادن الطفلة معادن الطفلة ليمونيت هيماتيت ليمونيت هيماتيت	سليكا سليكا + ⁺ ، ص + ⁺ ، كا + ²⁺ سليكا + ²⁺ ، ما + ²⁺
أوليفين		سليكا + ²⁺

شكل 5 - 10

التجوية الكروية لصخور مكتظة بالفواصل. يوسع الماء هذه الفواصل عند مروره خلالها، وحيث أن التجوية تزداد عند الحواف والنواصي فإن الصخور تأخذ أشكالاً كروية.



شكل 5 - 11

التجوية الكروية لنتوء متاسك من الجرانيت شرقى أريزونا.



شكل 5 - 12

تفصل قشر متعاقبة كلما استمرت عملية التجوية فى التعمق فى الصخور شيئاً فشيئاً.

معادن السليكا أيونات الصوديوم والكالسيوم والبوتاسيوم والمغنيسيوم وهذه تكون مواد ذائبة يمكن أن تنقلها المياه الجوفية. أما عنصر الحديد فهو يتحد مع الأكسجين ليكون أكاسيد الحديد غير القابلة للذوبان فى الماء. ومن أهمها الهيماتيت والليمونيت، وهى تعطى التربة لونها البنى المحمر أو المصفر. وتحت معظم الظروف فإن العناصر المتبقية وهى الألومنيوم والسليكون والأكسجين تتحد مع الماء مكونة معادن طفلة المتبقية. وحتى هذه المواد غير القابلة للذوبان تنقلها المياه الجوفية شيئاً فشيئاً.

التغيرات التى تحدثها التجوية الكيميائية ان من أهم نتائج التجوية الكيميائية كما ذكر آنفاً، هى تحلل المعادن غير المستقرة مع تكون وبقاء معادن أخرى متوازنة مع الظروف السائدة على سطح الأرض. وهذا يفسر توفر معادن معينة فى المواد السطحية تكون ما يسمى بالتربة. وبالإضافة الى تغير التركيب الداخلى للمعادن، تسبب التجوية الكيميائية فى تغيرات طبيعية. فمثلاً، عندما تتعرض قطع الصخور المزواة للمياه الجارية فى الفواصل الصخرية فإن هذه القطع تأخذ أشكالاً مدورة. ويوضح شكل (5 - 10) عملية التدوير المتدرج لحواف وأطراف الكتل المزواة. وزوايا القطع الصخرية أكثر تعرضاً للتجوية الكيميائية لأن نسبة مساحتها السطحية إلى حجمها كبيرة اذا ما قيست بالحواف والأسطح. وتعطى هذه العملية الصخر المجوى مظهرها مكوراً، وعليه فإنها تسمى بالتجوية الكروية (شكل 5 - 11).

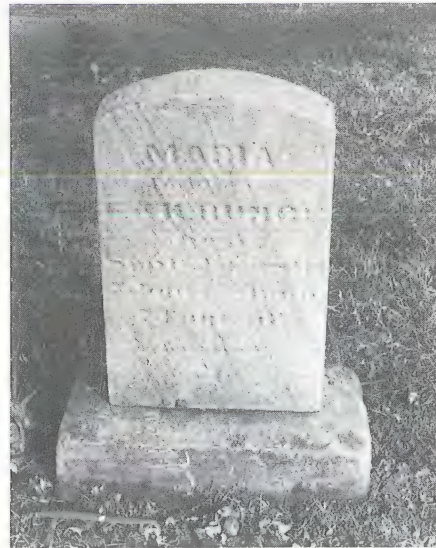
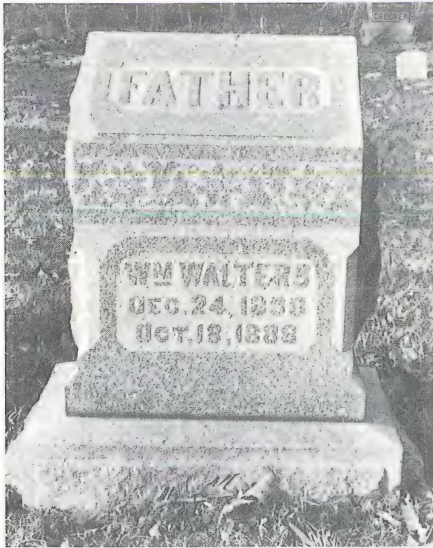
كثيراً ما يحدث أثناء تكون الجلاميد الكروية أن تنشأ قشور متتابعة تنفصل من الصخرة الرئيسية (شكل 5 - 12). وفى النهاية فإن القشرة الخارجية تنزاح معطية فرصة للتجوية الكيميائية للتغلغل الى عمق أكبر فى الصخرة المجواة. وينشأ هذا التقشر الكروى لأن المعادن الموجودة فى الصخور عندما تتجوى تتحول الى طفلة وهذه بدورها تزداد فى الحجم لاضافة الماء الى هيكلها البلورى. ان هذه الزيادة فى الكتلة تضغط بقوة الى الخارج مما يتسبب عنه انفصال القشور الكروية عن الصخرة الأم. وبذلك فإن التجوية

المعدني والقابلية للذوبان كما يشمل الملامح الطبيعية التي يمكن أن تتواجد في الصخور مثل الشقوق والأسطح الطبقة والفجوات. ويمكن توضيح التفاوت في معدلات التجوية التي تنشأ عن الاختلاف في التركيب المعدني بمقارنة نصب المقابر المصنوعة من أنواع مختلفة من الصخور فالنصب المصنوعة من الجرانيت المحتوى على معادن السليكات تظهر مقاومة نسبية أكبر، كما يلاحظ ذلك من النقوش المحفورة فيها وكما يظهر في شكل 5 - 13. وهذا لا ينطبق على النصب المصنوعة من الرخام التي يبدو عليها التآكل الشديد خلال فترات قصيرة. تذكر أن الرخام يحتوى على كربونات الكالسيوم التي تذوب بسهولة حتى في الأحماض المخففة.

الكيميائية تنتج قوى قادرة على استحداث تجوية ميكانيكية. ان هذا النوع من التجوية الكروية يجب أن لا يخلط بظاهرة التوريق التي تمت مناقشتها سابقا. ففي التوريق تتم عملية الانفصال نتيجة لتخفيف الحمل وتبعاً لذلك فالطبقات المنفصلة لا تظهر أى تغير كيميائي عند انفصالها.

معدلات التجوية تتأثر نوع ومعدل تجوية الصخور بعدة عوامل، من أهمها التركيب الصخري والمناخ والتضاريس.

التركيب الصخري: يتضمن التركيب الصخري كل الخصائص الكيميائية للصخور بحيث يشمل التركيب



شكل 5 - 13

يبين فحص نصب المقابر معدل التجوية الكيميائية لأنواع مختلفة من الصخور. أقيم النصب المصنوع من الجرانيت (الى اليسار) قبل النصب المصنوع من الرخام (الى اليمين) بست سنوات. وقد صار النصب المصنوع من الرخام الذى أقيم عام 1894 م. غير مقروء.

الأوليفين
البيروكسين
الأمفيبول
البايوتيت

فلسبار البوتاسيوم
المسكوفيت
الكوارتز

فلسبار الكالسيوم
فلسبار الصوديوم

زيادة المقاومة
للتجوية
الكيميائية



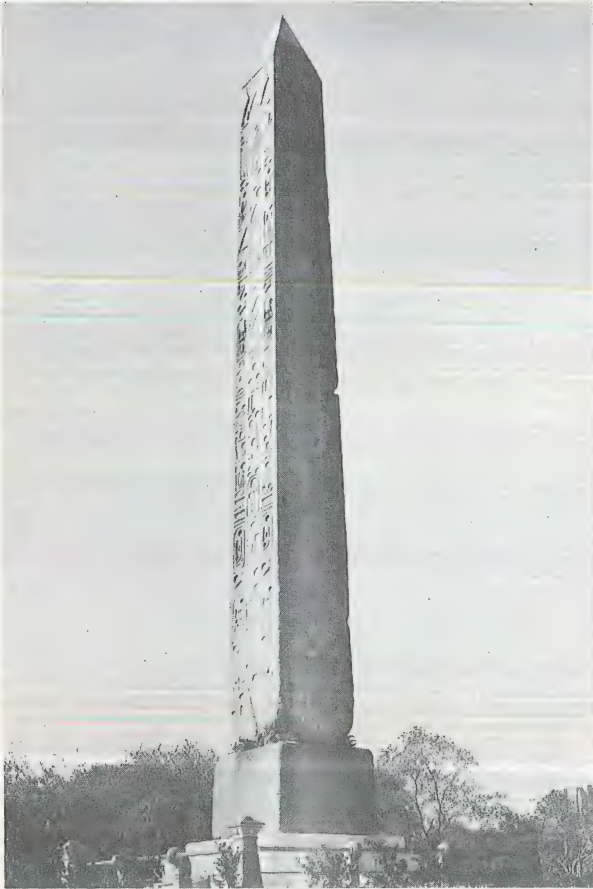
شكل 5 - 14

درجة استقرار معادن السليكات الشائعة وعلاقتها بذلك بالتجوية الكيميائية. فالمعادن التى تتبلر في درجات الحرارة العالية تتحلل بطريقة أسرع والعكس بالعكس.

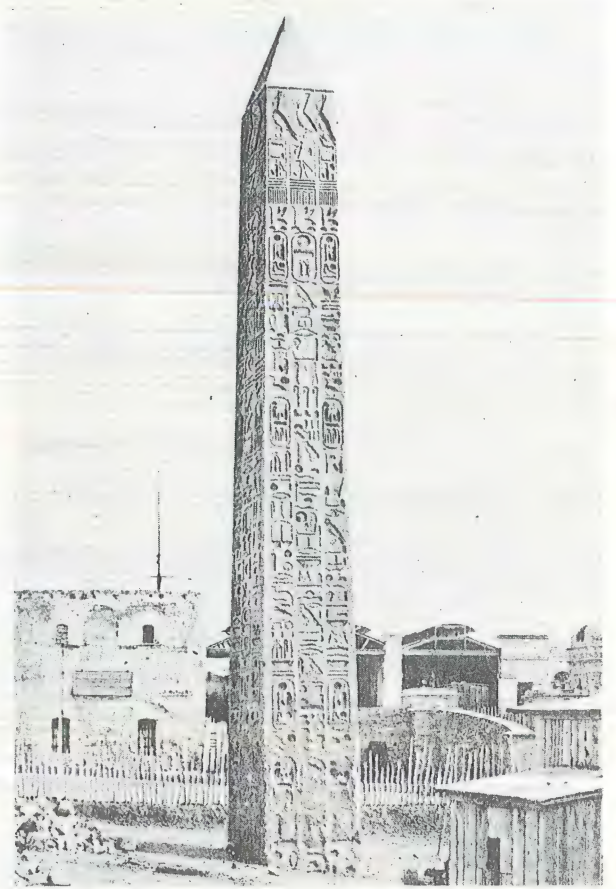
الأرض حيث تختلف درجات الحرارة والضغط عند البيئة التي تكونت فيها. وبفحصنا الشكل 5 - 14 نجد أن الأوليفين يتبلر أولاً، وهو بذلك أقل المعادن مقاومة للتجوية الكيميائية بينما يعتبر معدن الكوارتز الذي يتبلر أخيراً أكثر المعادن مقاومة لها.

المناخ: تعتبر العوامل المناخية، وعلى الأخص الحرارة والرطوبة، ذات أهمية أساسية لمعدل تجوية الصخور. وتحكم

وتتجوى السليكات، التي هي أكثر المعادن وفرة على النحو المبين في شكل (5-14). ويتطابق هذا الترتيب للمعادن مع تتابع تفاعلات بووين. فالترتيب الذي تتجوى به معادن السليكات هو نفس الترتيب الذي تتبلر به هذه المعادن. فالمعادن التي تتبلر أولاً تتكون في درجات حرارة أعلى بكثير من المعادن التي تتبلر أخيراً. ولهذا فإن المعادن المتبلرة أولاً ليس لها نفس الاستقرار الكيميائي عند سطح



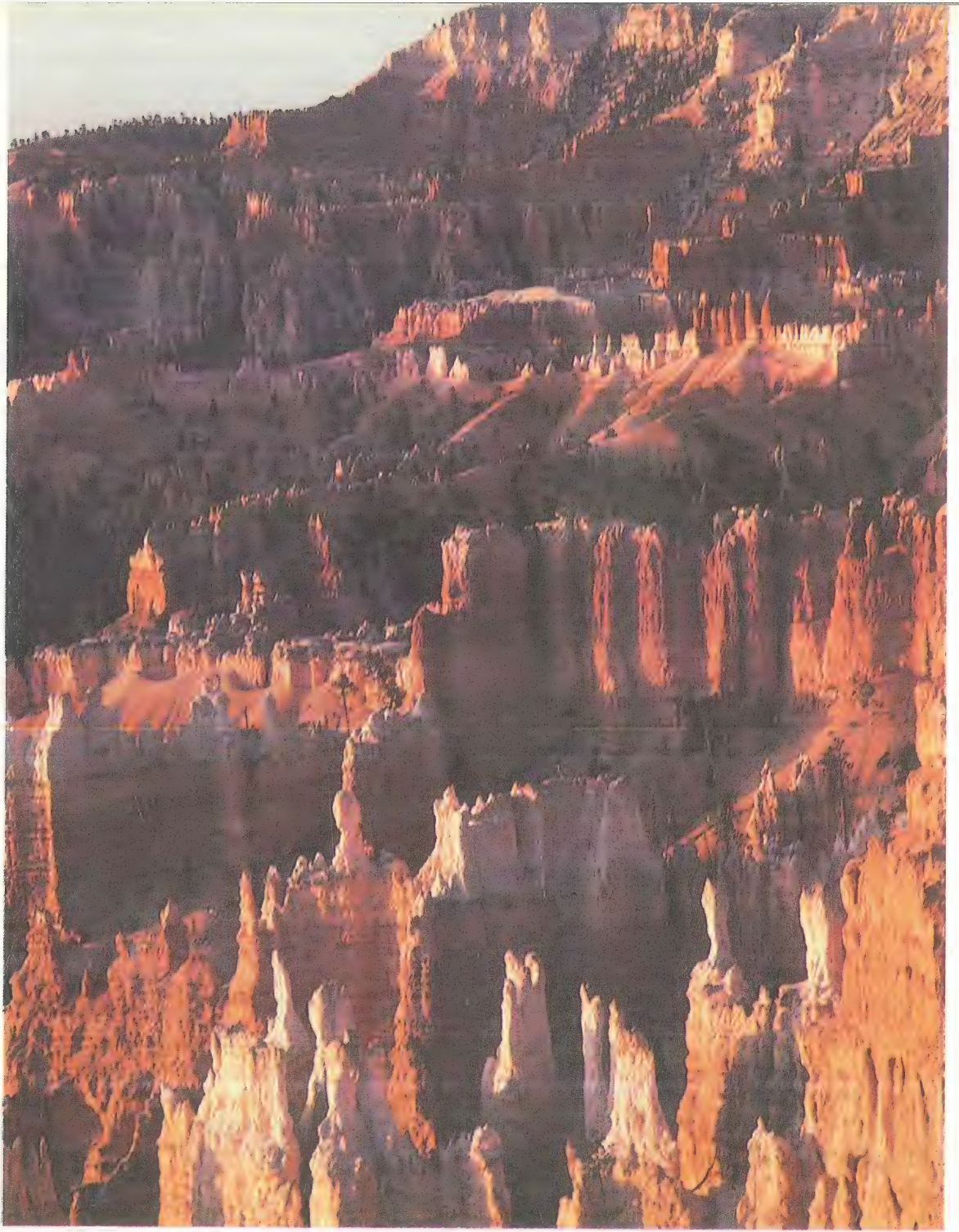
ب



ا

شكل 5 - 15

التجوية الكيميائية في ابرة كليبوترة وهي مسلة من الجرانيت. (أ) - قبل نقلها من مصر. (ب) - بعد مضي 75 عاماً في المنتزه المركزي لمدينة نيويورك. فبعد مقاومته لعوامل التعرية لمدة 35 قرناً في مصر، انمَحَى الجانب المقابل للرياح في أقل من قرن واحد.



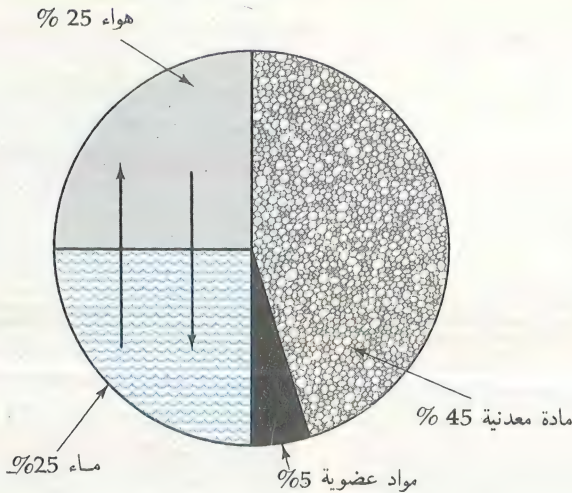
شكل 5 - 16
منتزه أخدود برايس . تبرز التجوية الفروق بين الصخور فتنتج بذلك بعض المناظر الخلابة.

تعمل على تفاوت التجوية في الصخور، فالتفاوت في التجوية وما يتبعها من تعرية هما المسئولان على المناظر الخلابة التي تميز قمم الجبال والهضاب. وهذه تشمل أشكالاً مثل القناطر الطبيعية التي توجد في منتزه آرشييز (أنظر الصورة في افتتاحية هذا الفصل) وكذلك التركيبات الصخرية المديبة مثل التي توجد في منتزه برايس كانيون (شكل 5 - 16).

التربة

لقد سميت التربة عن جدارة بحلقة الوصل بين عالم الأحياء وعالم الأموات. ويتوقف وجود الحياة على ما يقارب الاثنا عشر عنصراً كيميائياً المستمدة من القشرة الأرضية، فتحول أولاً التجوية الصخور إلى تربة ثم تقوم النباتات بدورها كوسيط قادر على امتصاص العناصر الضرورية وتوفيرها من بعد للحيوان والإنسان.

ويغطي الهشيم سطح الأرض باستثناء أجزاء قليلة. والهشيم هو الطبقات المكونة من قطع الصخور والمعادن



شكل 5 - 17

تركيب (حجمي) لتربة صالحة لنمو النباتات. فبالرغم من تفاوت النسب، فإن كل تربة تتكون من معادن ومواد عضوية وماء وهواء.

هذه العناصر المناخية إلى حد كبير في معدل التجوية. وتحدد بطريقة غير مباشرة نوع وكمية الغطاء النباتي. فالمناطق التي بها غطاء نباتي كثيف لها تربة سميكة غنية بالمواد العضوية المتحللة، التي تستمد منها المحاليل الكيميائية النشطة مثل حامض الكربونيك وحامض الهيوميك..

والبيئة المناسبة للتجوية الكيميائية هي خليط بين درجات الحرارة الدافئة ووفرة الهواء الرطب. ففي المناطق القطبية، ليس للتجوية الكيميائية أي تأثير لأن درجات الحرارة القاسية تحبس الرطوبة على هيئة ثلج. وكذلك الحال في المناطق الجافة، فإن انعدام الرطوبة يبطئ من التجوية الكيميائية. ومن الأمثلة المعروفة التي تجسد أثر المناخ في معدل التجوية الكيميائية، هي مسلة كليوبتر، وهي مسلة من الجرانيت نقلت من مصر إلى مدينة نيويورك بعد أن قاومت عمليات التعرية لمدة تزيد عن 3500 سنة في مناخ مصر الجاف. وفي أقل من 75 سنة منذ تعرضها لجو مدينة نيويورك الرطب (والغنى) بالمواد الكيميائية، أزيلت الكتابة الهيروغليفية من الجانب المواجه للرياح (شكل 5 - 15).

التضاريس: تؤثر التضاريس في كمية الصخور المعرضة لقوى التجوية، كما أن وضع التضاريس قد يتحكم بشكل غير مباشر في كمية الأمطار وفي نوعية وكمية الغطاء النباتي.

وتكثر التضاريس الوعرة التي بها نتوءات صخرية كبيرة ومتفاوتة في المناطق الجافة، بينما تكثر في المناطق الرطبة التضاريس المنخفضة والمستوية التي تغطيها النباتات وتراكمت التربة. وتعزى هذه الفروق عادة لزيادة نشاط التجوية الكيميائية في المناطق الرطبة وزيادة نشاط التجوية الميكانيكية في المناطق الجافة. وربما يكون من الأصح القول بأن التجوية الكيميائية مهمة في المنطقتين، بينما تزداد أهمية التجوية الميكانيكية نسبياً في المناطق الجافة.

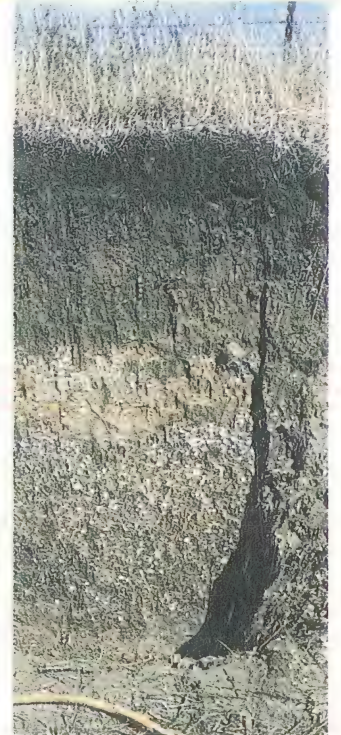
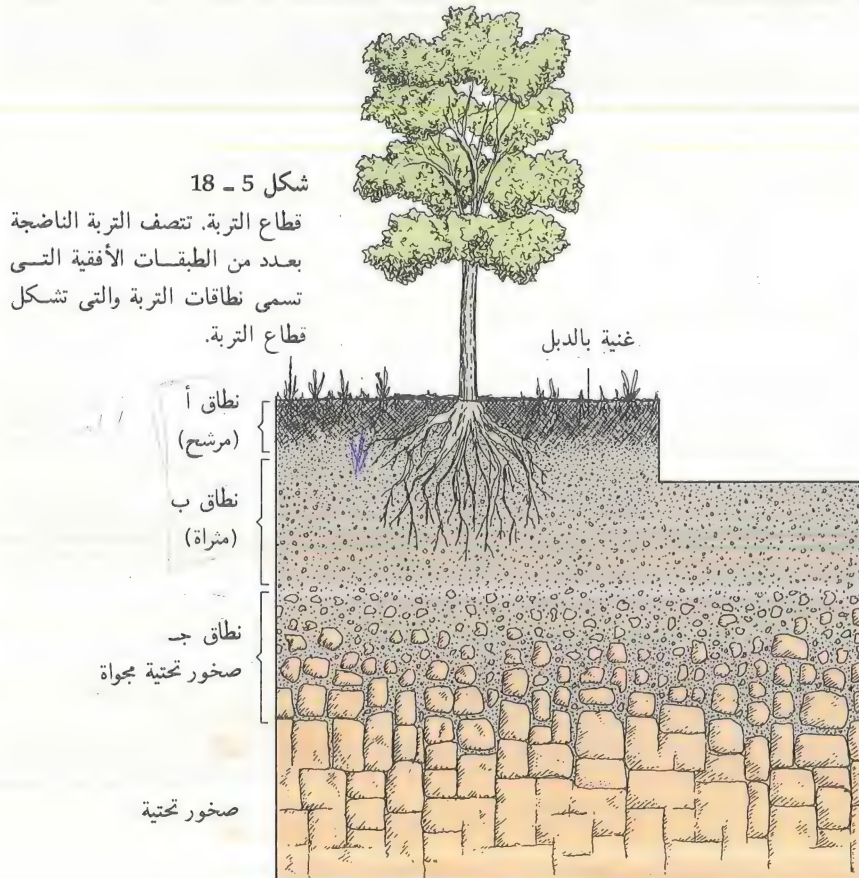
ومجموع هذه العوامل يحدد نوع ومعدل تجوية الصخور في أي منطقة. ولكن هناك فروق واضحة داخل كل منطقة

قطاع التربة

لو أنك قمت بحفر خندق في الأرض، فانك ستجد أن جدرانه مكونة من طبقات متتابة. هذه الطبقات تسمى نطاقات التربة وتكون في مجموعها قطاع التربة (شكل 5 - 18). ويمكن التعرف على ثلاثة نطاقات أساسية يشار لها من أعلى الى أسفل بنطاق أ، ب، ج، على الترتيب. كما أنه يمكن تقسيم نطاقي ب، ج.

فالطبقة العليا في قطاع التربة وهي نطاق (أ) تسمى عادة بالترية السطحية. وهو الجزء من التربة الذي يتسم

المهشمة الناتجة عن التجوية. ويسمى البعض هذه المواد تربة، ولكن التربة لا تعني فقط تراكبا للقطع الصخرية. فالتربة هي خليط من الصخور والمعادن والمواد العضوية والماء والهواء وهي ذلك الجزء من الهشيم الذي تنمو فيه النباتات ورغم أن النسب قد تتفاوت إلا أن المكونات الأساسية للتربة ثابتة (شكل 5 - 17). ويتكوّن حوالى نصف الحجم الكلى لتربة سطحية جيدة من خليط من الصخور (مواد معدنية) المتفتتة والمتحللة ومن بقايا الحيوانات والنباتات (مواد عضوية). أما النصف الباقي فيشغله فراغ حيث يتخلله الماء والهواء.



والانحدار. ولأن هذه العوامل يعتمد بعضها على بعض إلا أنه من السهل تناول دور كل منها على حدة.

① **المادة الأصلية:** المادة الأصلية التي تستمد منها التربة إما أن تكون الصخور التي تحتها أو طبقة من الرواسب غير المتصلبة. وتسمى التربة المتكونة فوق الصخور بالتربة الموضعية. أما التربة المتكونة من الرواسب غير المتصلبة فتسمى بالتربة المنقولة (شكل 5 - 19). تؤثر طبيعة المادة الأصلية في التربة بطريقتين، أولاً، نوع المادة الأصلية يؤثر إلى حد ما في معدل التجوية وبالتالي في معدل تكون التربة. فمثلاً يؤثر التركيب المعدني للمادة الأصلية في معدل التجوية الكيميائية. وحيث أن المواد غير المتصلبة هي مجواة جزئياً فإن تكون التربة فيها سوف يكون أسرع من تكونه في الصخور الصلبة. ثانياً، يؤثر التركيب الكيميائي للمادة الأصلية في خصوبة التربة، فإذا كانت تفتقر إلى العناصر اللازمة لنمو النباتات فإن فائدتها سوف تضمحل.

وقد كان يعتقد في الماضي بأن المادة الأصلية هي العامل الأساسي الذي يسبب الفوارق بين أنواع التربة. غير أنه قد اتضح لعلماء التربة بأن هناك عوامل أخرى أكثر أهمية وعلى الأخص المناخ. وفي الحقيقة قد وجد أن أنواعاً متشابهة من التربة تنتج غالباً من مواد أصلية مختلفة وأن أنواعاً مختلفة من التربة تنتج من نفس المادة الأصلية. ومثل هذه الاكتشافات تؤكد مجدداً أهمية العوامل الأخرى المكونة للتربة.

② **الزمن:** إذا استمرت التجوية لمدة قصيرة نسبياً، فإن طبيعة المادة الأصلية تنعكس إلى حد كبير في أوصاف التربة المتكونة. وكلما استمرت التجوية كلما تغلب تأثير العوامل الأخرى المكونة للتربة على تأثير المادة الأصلية. ولهذا فإن الزمن يعد عاملاً مهماً في تكوين التربة. وليس من الممكن تحديد فترة زمنية معينة لتكوين كل نوع من أنواع التربة، وذلك لأن عمليات التكوين تسير بمعدلات متفاوتة تحت الظروف المختلفة. غير أنه يمكن القول بأنه كلما طال الزمن

بأكبر نشاط حياتي، حيث تكثر به المواد العضوية. وحيث أن نطاق أيقع عند سطح الأرض فهو الذي تصله الأمطار أولاً. وتبعاً لذلك فإن المواد الذائبة والحبيبات الدقيقة مثل الطفلة ترشح منه (تغسل إلى أسفل) عن طريق المياه المتخللة.

وتحت التربة السطحية مباشرة يقع نطاق (ب) أو التربة التحتية. وفي هذا النطاق تترسب معظم المواد المزاحة من نطاق (أ). ولهذا السبب يطلق على نطاق (ب) منطقة التراكم. وحيث أن نطاق (ب) يحتل موقعا وسطاً في قطاع التربة فيمكن اعتباره جزئياً على الأقل منطقة انتقالية. فمثلاً تزيد وفرة الكائنات الحية والمواد العضوية في نطاق (ب) عنه في نطاق (ج) ولكن أقل بكثير من نطاق (أ). ويكون نطاق (أ)، (ب) مجتمعين السولوم أو التربة الحقيقية. وفي السولوم تنشط عمليات تكون التربة وينحصر بشكل كبير تواجد الجذور الحية ونشاط النباتات والحيوانات الأخرى.

وتحت السولوم يقع نطاق (ج) وهي طبقة تتميز بالتغير الجزئي للمواد الأم مع قليل من المواد العضوية إن وجدت (شكل 5 - 18). وقد يصل التغير في المواد الأم المكونة للسولوم درجة يستحيل معه التعرف على خصائصه الأولية غير أنه يمكن التعرف عليها في نطاق (ج).

وقد تكون الخطوط الفاصلة بين نطاقات التربة واضحة جداً وقد تمتاز هذه النطاقات تدريجياً من واحد إلى آخر. وعلاوة على ذلك فإن هناك تربة تفتقد النطاقات كلياً. ويوصف هذا النوع من التربة بأنه غير ناضج لأن عملية بناء التربة لم تبدأ به إلا من فترة قصيرة. وتعد التربة غير الناضجة خاصة من خصائص السفوح شديدة الانحدار حيث تعمل عوامل التعرية على تجريد السفوح من التربة مانعة بذلك التكون الكامل لنطاقاتها.

العوامل المتحكممة في تكون التربة

التربة هي نتاج تداخلات معقدة لعدة عوامل تشمل المادة الأصلية والزمن والمناخ والنباتات والحيوانات،

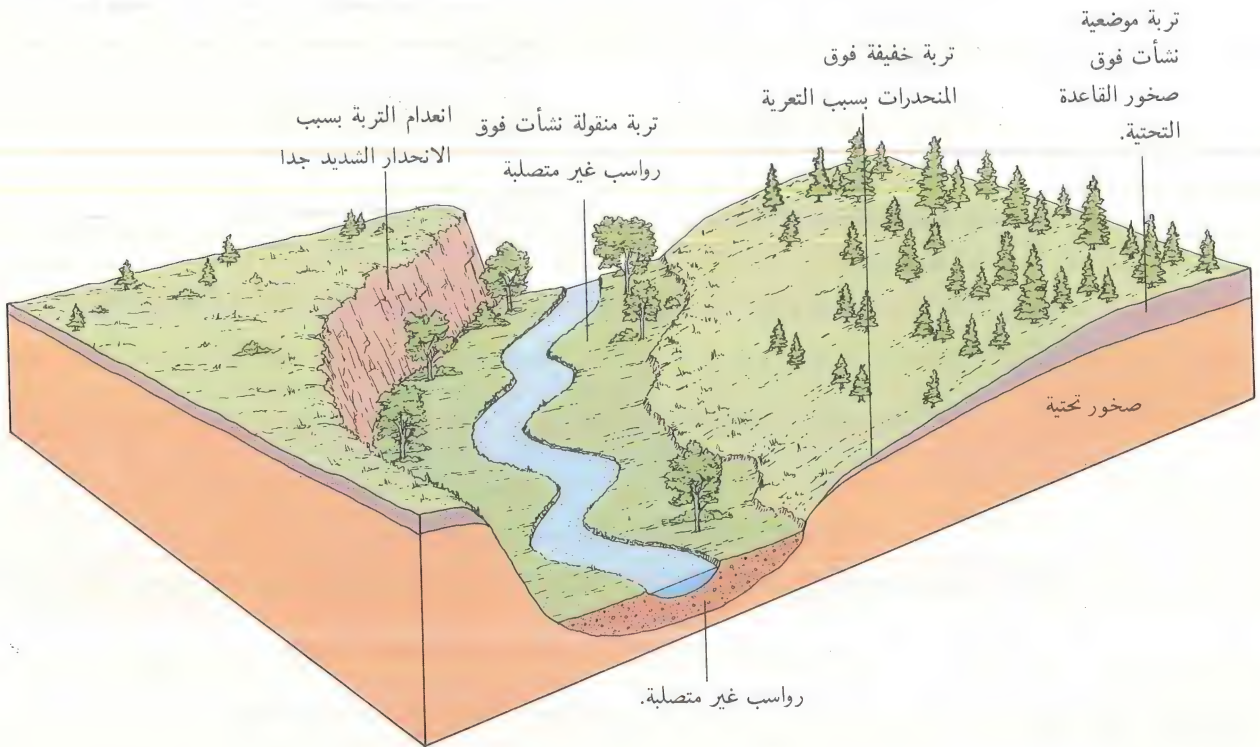
العوامل المناخية تتحكم أيضا في نوع الحياة النباتية والحيوانية السائدة في التربة.

النباتات والحيوانات: إن المهمة الرئيسة للنباتات والحيوانات هنا هي توفير المواد العضوية للتربة. فنجد أن أنواعا مختلفة من تربة المستنقعات تكاد تكون معظمها مكونة من المواد العضوية، بينما تحتوى تربة الصحراء على جزء بسيط من واحد في المائة من المواد العضوية. ورغم أن كمية المواد العضوية تختلف من تربة إلى أخرى إلا أنه لا توجد تربة تفتقر إليها.

والمصدر الأساسي للمواد العضوية هو النباتات، مع بعض المساهمة أيضا من الحيوانات والكائنات المجهرية

اللازم لتكوين التربة زاد سمك التربة وقلَّ اختلافها في التركيب عن المواد الأصلية المستمدة منها.

المناخ: يعد المناخ أهم العوامل المتحكم في تكوين التربة. فهو الذى يقرر ما إذا كانت ستسود التجوية الكيميائية أم التجوية الميكانيكية في عملية التكوين، كما أنه يؤثر أيضا في معدل وعمق التجوية. فمثلا يمكن أن ينتج المناخ الرطب الحار طبقة سميكة من التربة المجواة كيميائيا في نفس الفترة الزمنية التي ينتج فيها المناخ البارد والأقل رطوبة قشرة رقيقة من الفتات المجوى ميكانيكيا. وعلاوة على ذلك فإن كمية المطر يؤثر في المدى الذي ترشح فيه المواد المختلفة من التربة مما ينعكس على خصوبة التربة. وفي النهاية، فإن



شكل 5 - 19

المواد الأصلية (الأم) - فالمواد الأصلية للتربة الموضعية هي عبارة عن صخور القاعدة التحتية، بينما تنشأ التربة المنقولة فوق الترسبات غير المتناسكة. لاحظ أيضا أن التربة تكون رقيقة أو منعدمة فوق المنحدرات.

التربة سميكة وغامقة اللون، ويرجع لونها الغامق الى محتواها العالى من المواد العضوية، التى تراكمت بفعل حالات التشبع الناجمة من تحلل المواد النباتية. والمنحدر الأمثل لتكوّن التربة هو سطح مرتفع مستو أو متموج. فهناك نجد الصرف الجيد الى جانب الحد الأدنى من التعرية وتسرب كمية مناسبة من المياه الى التربة.

أما وُجْهَةُ المنحدر أو الاتجاه الذى يقابله المنحدر، فهو مسألة أخرى تستحق الذكر. فعند المناطق المناخية المتوسطة تحصل المنحدرات المواجهة للجنوب على كمية من ضوء الشمس أكبر بكثير مما تحصل عليه المنحدرات المواجهة للشمال. وفي الحقيقة، فإن الأسطح شديدة الانحدار المواجهة للشمال قد لا تحصل على أى كمية مباشرة من ضوء الشمس. ويسبب الفرق فى كمية أشعة الشمس المستقبلية فروقا فى درجات الحرارة وفى كمية الرطوبة. وهذا بدوره سوف يؤثر فى طبيعة الغطاء النباتى وفى خصائص التربة.

ورغم أننا هنا قد قمنا بمعالجة كل عامل من عوامل تكوين التربة على انفراد، تذكّر أن جميعها تعمل متحدة لتكوين التربة. فلا يوجد عامل واحد مسئول عن تواجد نوع معين من التربة. وعموما فإن الذى يؤثر فى نوع التربة هى عوامل تأثير المادة الأصلية والزمن والمناخ والنباتات والحيوانات والمنحدر مجتمعة.

أنواع التربة

فى المناقشة التالية سوف نتناول باختصار بعض أنواع التربة الشائعة. وعند قراءة هذا الجزء لاحظ أن خصائص كل نوع من أنواع التربة تعكس بالدرجة الأولى حالة المناخ السائدة. ويلخص الجدول رقم 5 - 2 خصائص أنواع التربة التى تمت مناقشتها فى هذا الجزء من الكتاب. فكلية البيداغوج تعطى دلالة للخصائص الأساسية لهذا النوع من التربة. فالكلمة مستمدة من الاغريقية «بيدون» التى تعنى تربة والرموز الكيميائية (لو)

الدقيقة. فعندما تتحلل المواد العضوية فانها تزود النباتات بالمواد المقوية، كما انها تصبح غذاءً للحيوانات والكائنات المجهرية التى تعيش فى التربة. وتبعاً لذلك فإن خصوبة التربة تعتمد على كمية المواد العضوية الموجودة بها. هذا بالإضافة الى أن تحلل بقايا النباتات والحيوانات ينتج عنه عدة أحماض عضوية. وتعمل هذه الأحماض المعقدة على الاسراع فى عمليات التجوية. كما أن للمواد العضوية قدرة عالية على تخزين الماء ولهذا فهي تساعد على حفظ الماء فى التربة.

وتلعب الكائنات الدقيقة، بما فى ذلك الفطريات والبكتيريا والأوليات وحيدة الخلية، دورا فعالا فى تحلل بقايا النباتات والحيوانات. والنتائج النهائية هو الدبال وهو مادة شبه جيلاتينية لم يعد لها شبه بالنباتات والحيوانات التى استمدت منها. هذا بالإضافة الى أن بعض الكائنات الدقيقة تساعد على خصوبة التربة لأن لديها القدرة على تثبيت (تغيير) النيتروجين الجوى الى نيتروجين التربة.

وتعمل ديدان الأرض والحيوانات الحفارة على مزج المعادن والأجزاء العضوية من التربة. فمثلا تتغذى ديدان الأرض على المواد العضوية فى التربة وتمزج بعناية التربة التى تعيش فيها، وعادة ما تحرك وتشرى عدة أطنان فى الفدان الواحد فى السنة. وتساعد الحفر والمسارب التى تركها هذه الحيوانات على مرور الماء والهواء خلال التربة.

5 الانحدار: للانحدار دور هام فى كمية التعرية والمحتوى المائى للتربة. فالتربة المتكونة على المنحدرات الشديدة، عادة ما تكون ضعيفة التكوين. وفى هذه الحالات تكون كمية المياه التى تتخللها قليلة. ولهذا فإن محتوى التربة من الرطوبة قد لا يكون كافيا لنمو ملحوظ فى النبات. ونظرا للتعرية المتزايدة على المنحدرات الشديدة فإن التربة تكون ضحلة أو غير موجودة فى بعض الحالات (شكل 5 - 19). ومن جهة أخرى فإن للتربة المشبعة بالمياه ذات الصرف الردىء فى الأراضى المنخفضة خواص مختلفة تماما. وعادة ما تكون هذه

أما كلمة **بيدوكال**: فهي كلمة مشتقة من اليونانية «بيدون» بمعنى تربة والحروف الثلاثة الأولى من معدن الكالسيت (كربونات الكالسيوم). وكما يدل عليه هذا الاسم فإن تربة البيدوكال تتميز بتراكم كربونات الكالسيوم. وتكثر هذه التربة مناطق المراعي والأحراش الجافة نسبيا لمناطق عدة من العالم. وحيث أن التجوية الكيميائية في المناطق الجافة تكون أقل حدة، فإن البيدوكال تحتوى على نسبة من معادن الطفلة أقل مما هو موجود في البيدالفير. وفي المناطق الجافة وشبه الجافة عادة ما تترسب في التربة طبقة غنية بالجير تسمى بالطبقة الكلسية أو الكاليش

للألومنيوم و fr (ح) للحديد. وتتميز تربة بدالفيرا باحتوائها على تراكم أكاسيد الحديد والطين الغنى بالألومنيوم في نطاق (ب) في المناطق متوسطة المناخ. ويزيد هنا معدل سقوط الأمطار عن 63 سنتيمترا، وعليه تترشح من التربة معظم المواد القابلة للذوبان مثل كربونات الكالسيوم وتنقلها المياه الباطنية بعيدا. أما المواد قليلة الذوبان فهي تنتقل من نطاق (أ) وتتراكم في نطاق (ب) مما يعطى هذا النطاق لونه البنى أو البنى المحمر. يعد الغطاء النباتى في الغابات أحسن موقع لتكوّن هذا النوع من التربة حيث تتوفر كميات كبيرة من المواد العضوية المتراكمة والظروف الحمضية اللازمة للترشيح.

جدول 5 - 2

ملخص أنواع التربة

المناح	معتدل رطب (المطر أكثر من 63 سم)	معتدل جاف (المطر أقل من 63 سم)	استوائي (غزير المطر)	متطرف قطبي أو صحراوي
لغطاء النباتى	غابات	اعشاب طويلة وشجيرات	اعشاب وأشجار	عديم النباتات تقريبا وعديم الذبال
نوع التربة				
	بيد ألفير	بيدوكال	لاتيريت	
التربة السطحية	رملية، لون فاتح، حامضية	غنية بالكالسيت لون ابيض عادة	غنية بالحديد والألومنيوم لون احمر اجورى	لا توجد تربة حقيقية لانه لا توجد مواد عضوية
التربة التحتية	غنية بالحديد والألومنيوم ومعادن الطفلة، لون بنى	غنية بالكالسيت لون أبيض	رشحت جميع العناصر الأخرى	والتجوية الكيميائية بطيئة جدا
ملاحظات	اقصى تطور في غابات الصنوبر حيث وفرة الذبال تزيد من حموضة المياه الجوفية وتنتج تربة رمادية اللون لترشيح عنصر الحديد منها	الكلس هو الاسم الذى يطلق على تراكم الكالسيت	بيدوان البكتيريا تحلل الذبال بحيث لا تتكون الاحماض لازالة الحديد	



وفي هذه هذه المناطق يصل القليل من الأمطار الساقطة الى أعماق كبيرة حيث تحتفظ حبيبات التربة بمعظم المياه قرب السطح حتى تتبخر. ونتيجة لذلك فانه يتم رشح المواد القابلة للذوبان والتي هي كربونات الكالسيوم بصورة رئيسة من الطبقات العليا وترسيبها الى أسفل مكونة بذلك الطبقة الكلسية.

وفي المناخ الحار والرطب، تتكون تربة استوائية تعرف باللاتيريت حيث تزداد حدة التجوية الكيميائية. وهذه التربة تكون عادة أعمق من تلك المتكونة في نفس الفترة الزمنية في المناطق المعتدلة. ولا يتم فقط إزالة المواد الذائبة مثل الكالسيوم ولكن تزيل أيضا كميات كبيرة من المياه المتسربة معظم السليكا مما ينتج عنه تركيز أكاسيد الحديد والألومنيوم في التربة. فالحديد يعطى التربة لونها الأحمر المميز (شكل 5 - 2). وعندما تجف اللاتيريت تكون شديدة الصلابة. ويستعمل بعض الناس هذه التربة في صناعة الآجر. وإذا كانت الصخور الأصلية تحتوى قليلا من الحديد فان نواتج التجوية تكون تراكما غنيا بالألومنيوم يسمى البوكسيت الذي هو الخام الأساسى لمعدن الألومنيوم.

وحيث أن نشاط البكتيريا يزداد في المناطق الاستوائية، فان اللاتيريت لا تحتوى على دبل يذكر. وإذا ما اقترنت هذه الحقيقة مع طبيعة هذه التربة ذات الرشح العالى وصلابة الآجر، فان ذلك يجعل من اللاتيريت تربة غير صالحة للزراعة. ويلاحظ ان قلة خصوبة التربة تتكرر باستمرار في البلدان الاستوائية في جميع المناطق التى امتد إليها الاستزراع.

شكل 5 - 20

اللون الأحمر المميز لتربة اللاتيريت الجيدة التكوين.

أما في المناخ البارد أو المناخ الجاف فعادة ما يقل سمك التربة وتزداد رداءتها. وأسباب ذلك تكون معروفة. فنشاط التجوية الكيميائية يتقدم ببطء شديد في هذا المناخ. والغطاء النباتى قليل ولا ينتج عنه الا القليل من المواد العضوية.

أسئلة

للمراجعة :

- 1 - ميّز بين نواتج التجوية الميكانيكية ونواتج التجوية الكيميائية.
- 2 - في أى من البيئات يكون دسر الصقيع أكثر تأثيراً؟ *في المناطق الجبلية*
- 3 - صف عمليتي التوريق والتجوية الكروية. فيم يختلفان وفيهم يتشابهان؟
- 4 - كيف تساعد التجوية الميكانيكية على تعميق أثر التجوية الكيميائية؟
- 5 - تظهر عند السطح صخور كل من الجرانيت والبازلت في منطقة ذات مناخ حار ورطب:

 - أ - أى نوع من التجوية سيسود؟
 - ب - أى النوعين من الصخور سيتجوى أسرع؟ ولماذا؟

- 6 - الحرارة تزيد من سرعة التفاعلات الكيميائية. لماذا إذاً تتم عملية التجوية الكيميائية ببطء في الصحارى الحارة؟
- 7 - كيف يتكون حامض الكربونيك (يد₂ ك₃) في الطبيعة؟ وماذا يحدث عندما يتفاعل هذا الحامض مع معدن الفلسبار البوتاسي؟
- 8 - ما هو الفرق بين التربة والهشيم؟
- 9 - ضع قائمة بالخصائص المميزة لكل نطاق من نطاقات التربة في قطاع لتربة جيدة التكوين. أى نطاق يمثل السّولوم؟ تحت أى الظروف تنعدم النطاقات في التربة؟
- 10 - ما هي العوامل التي قد تسبب في تكوين أنواع مختلفة من التربة من نفس المصدر (الصخر الأم) وأنواع متشابهة للتربة من مصادر مختلفة؟
- 11 - ما هو أكثر العوامل أهمية في تكوين التربة؟ اشرح. *المناخ*
- 12 - كيف يؤثر الانحدار في تكوين التربة؟ ماذا يقصد بمصطلح وُجْهَة الانحدار؟
- 13 - ما هو الفرق بين تربة البيدالفير وتربة البيدوكال؟
- 14 - تحتوى كل من التربة المتكونة في المناطق الاستوائية الرطبة والمناطق القطبية المتجمدة على قليل من المواد العضوية. فهل كل منهما يفتقر الى الدبل لنفس السبب؟

الكلمات الدالة :

hydrolysis	الحلمأة	solution	الاذابة
humus	الدّبل	oxidation	التأكسد
solum	السّولوم	weathering	التجوية
joints	الفواصل	spheroidal weathering	التجوية الكروية
caliche	الكليش	chemical weathering	التجوية الكيميائية
parent material	المادة الأم	mechanical weathering	التجوية الميكانيكية
talus slope	المنحدر الركامي	erosion	التعرية
regolith	المهشيم	soil	التربة
pedalfer	بيدالفير	subsoil	التربة التحتية
pedocal	بيدوكال	surface soil	التربة السطحية
mass wasting	تبدّد الكتل	transported soil	التربة المنقولة
frost wedging	دسر الصقيع	residual soil	التربة الموضعية
exfoliation dome	قبة التقشر	immature soil	التربة غير الناضجة
soil profile	قطاع التربة	sheeting	التوريق
laterite	لاتيريت		
horizon	نطاق		

